

Растениеводство

- Баталова Г.А., Тулякова М.В., Жуйкова О.А., Вологжанина Е.Н., Кротова Н.В.**
Адаптивный потенциал перспективных линий и сортов пленчатого овса селекции
Федерального научного центра Северо-Востока 3
- Пасынков А.В., Завалин А.А., Пасынкова Е.Н.**
Совершенствование способа прогноза содержания сырой клейковины в зерне пшеницы 7
- Шафигуллин Д.Р., Гинс М.С., Пронина Е.П., Романова Е.В., Солдатенко А.В.**
Накопление сырого белка образцами сои овощного типа в условиях
Центрального района Нечерноземной зоны России 13
- Ильницкий О.А., Плугатарь Ю.В., Паштецкий А.В.** Динамика интенсивности
фотосинтеза *Juniperus excelsa* M. Bieb и факторов внешней среды
в ходе вегетации вида в условиях Южного берега Крыма 17

Защита растений

- Лукомец В.М., Зеленцов С.В., Саенко Г.М., Мошненко Е.В., Зеленцов В.С.**
Фунгицидная активность слизиобразующих полисахаридов
льна обыкновенного *Linum usitatissimum* L. 21
- Шаталина Л.П., Анисимов Ю.П., Калюжина Е.Л.** Ассоциации сорных растений
в агрофитоценозах яровой пшеницы 25
- Семененко С.Я., Лытов М.Н., Чушкина Е.И., Чушкин А.Н.** Применение электролизованной
воды в системе мероприятий по борьбе с болезнями рассады томата 30

Агрохимия. Почвоведение

- Курамшина З.М., Хайруллин Р.М., Насретдинова Л.Р.** Влияние фосфорных удобрений
на микоризацию корней культурных растений 36
- Стулин А.Ф., Стахурлова Л.Д.** Продуктивность подсолнечника на черноземах
выщелоченных в длительном опыте с удобрениями 39

Мелиорация

- Кружилин И.П., Гамм Т.А.** Этапы трансформации очистительной способности
земледельческих полей орошения сточными водами газоперерабатывающего комплекса 44
- Иванов А.И., Иванова Ж.А., Соколов И.В.** Вторичное освоение неиспользуемых угодий 48

Животноводство

- Седых Т.А., Гизатуллин Р.С., Долматова И.Ю., Гусев И.В., Калашникова Л.А.**
Полиморфизм гена соматотропного гормона в связи с качеством туш мясного скота 53
- Прохоров И.П., Калмыкова О.А.**
Особенности роста и развития скелета симментальских и помесных бычков,
выращиваемых на мясо 58
- Шукюрова Е.Б., Марзанов Н.С.** Генетическая характеристика голштинского
крупного рогатого скота, разводимого на Дальнем Востоке 62
- Шаталина О.С., Ткаченко И.В., Афонина Д.А., Новицкая К.В.** Влияние степени
генетического сходства по микросателлитным локусам родителей и дочерей
на молочную продуктивность 66

Ветеринария

- Нежданов А.Г., Шабунин С.В., Михалев В.И., Пасько Н.В., Сафонов В.А.**
Гормональный и цитокиновый профиль крови молочных коров
в ранний период гестации 70
- Кузьмина Т.И., Чистякова И.В., Старикова Д.А.** Мейотическое созревание
и функционирование липидома в ооцитах свиней, завершивших фазу
роста *in vivo* или *in vitro*, при пролонгированном культивировании 74

Plant growing

- Batalova G.A., Tulyakova M.V., Zhuikova O.A., Vologzhanina E.N., Krotova N.V.**
Adaptive potential of perspective lines and cultivars of covered oat bred in FASC of North-East 3
- Pasynkov A.V., Zavalin A.A., Pasynkova E.N.** Improving the method of forecast of wet gluten content in wheat grain 7
- Shafigullin D.R., Gins M.S., Pronina E.P., Romanova E.V., Soldatenko A.V.**
On the raw protein accumulation by samples of soybean vegetable type in the conditions of the Central area of the Non-Black-Zone 13
- Ilitsky O.A., Plugatar Yu.V., Pashtetsky A.V.**
Dynamics of the intensity of photosynthesis *Juniperus excelsa* M. Bieb and of environmental factors during the growth season of this species in the conditions of the Southern coast of Crimea 17

Plant protection

- Lukomets V.M., Zelentsov S.V., Saenko G.M., Moshnenko E.V., Zelentsov V.S.**
Fungicidal activity of musilage development polysaccharides of common flax *Linum usitatissimum* L. 21
- Shatalina L.P., Anisimov Yu.P., Kalyuzhina E.L.**
Associations of weed plants in agrophytocenosis spring wheat 25
- Semenenko S.Ya., Lytov M.N., Chushkina E.I., Chushkin A.N.**
Application of electrolyzed water in the system of measures for combating the diseases of tomatian seedling 30

Agrochemistry. Pedology

- Kuramshina Z.M., Khairullin R.M., Nasretdinova L.R.**
Effect of phosphoric fertilizers on microization of plants roots 36
- Stulin A.F., Stakhurlova L.D.** Sunflower productivity on leached chernozems in long-term experience with fertilizers 39

Reclamations

- Kruzhilin I.P., Gamm T.A.** Transformation Stages of cleaning capacity of agricultural irrigation fields with wastewater from a gas processing complex 44
- Ivanov A.I., Ivanova Zh.A., Sokolov I.V.** Secondary development of unused land 48

Animal husbandry

- Sedykh T.A., Gizatullin R.S., Dolmatova I.Yu., Gusev I.V., Kalashnikova L.A.**
Growth hormone gene polymorphism in relation to beef cattle carcass quality 53
- Prohorov I.P., Kalmykova O.A.** Peculiarities of skeleton growth and development in simmenthal and crossbred bull-calves reared for beef 58
- Shukyurova E.B., Marzanov N.S.** The genetic characteristic of the holstein cattle breeding in the Far East 62
- Shatalina O.S., Tkachenko I.V., Afonina D.A., Novitskaya K.V.**
The influence of the degree of genetic similarity in the microsatellite loci of parents and daughters on the milk productivity 66

Veterinary science

- Nezhdanov A.G., Shabunin S.V., Mikhalev V.I., Pasko N.V., Safonov V.A.**
Hormonal and cytokine blood profile of dairy cows in the early gestation period 70
- Kuzmina T.I., Chistyakova I.V., Starikova D.A.**
Meiotic maturation and lipidome functioning in porcine oocytes that have finished its growth phase *in vivo* or *in vitro* at prolonged cultivation 74

Растениеводство

УДК 633.13:57.017.3

DOI:10.31857/S2500-2627-2020-2-3-6

АДАПТИВНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЛИНИЙ
И СОРТОВ ПЛЕНЧАТОГО ОВСА СЕЛЕКЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА СЕВЕРО-ВОСТОКАГ.А. Баталова¹, академик РАН, М.В. Тулякова², О.А. Жуйкова¹,
Е.Н. Вологжанина¹, Н.В. Кротова¹, кандидаты сельскохозяйственных наук¹Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого,
610007, Киров, ул. Ленина, 166а
E-mail: g.batalova@mail.ru²Фаленская селекционная станция – филиал Федерального аграрного научного центра
Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого,
612500, Кировская область, п. Фаленки, ул. Тимирязева, 3
E-mail: fss-nauka@mail.ru

В двух экологических точках Кировской области (г. Киров и п. Фаленки) изучено 9 сортов и линий овса пленчатого в параллельном конкурсном испытании по адаптивности и стабильности урожайности и выделены перспективные для использования в производстве. Индекс условий среды (I) изменялся в 2018 г. от отрицательного показателя в Кирове (-10,50) до положительного (3,86) в Фаленках, в 2017 г. составил соответственно 3,39 и 3,26. Выделены перспективные линии интенсивного типа И-4592, И-4808 со средней урожайностью 64,4 и 63,8 ц/га, отзывчивые на изменение условий среды в разрезе лет и экологических точек ($b_i=1,59$ и $b_i=1,37$; $S_i^2=21,58$ и $S_i^2=9,78$). Линия И-4808 имела урожайность на 6,0 ц/га выше сорта-стандарта, проявила более высокую стрессоустойчивость и стабильность урожайности, чем И-4592, и передана на Государственное испытание как сорт Фаленец. Широкий диапазон приспособительных возможностей и устойчивость к стрессовым факторам отмечены у перспективной линии 2h12o при высокой средней урожайности (61,6 ц/га), коэффициенте регрессии, близком к 1 ($b_i=0,94$), и высокой генетической гибкости ($(Y_{min}+Y_{max})/2 = 60,2$ ц/га). Сорта Саспан, Медведь и Бербер отнесены к полунинтенсивным генотипам, способным формировать стабильную по годам урожайность. Установлены значимые положительные корреляции между урожайностью и генетической гибкостью ($r=0,93$), между коэффициентом регрессии и показателями варьирования ($r=0,90$), стабильности ($r=0,92$) и незначительная – с дисперсией стабильности ($r=0,09$).

ADAPTIVE POTENTIAL OF PERSPECTIVE LINES
AND CULTIVARS OF COVERED OAT BRED IN FASC OF NORTH-EASTBatalova G.A.¹, Tulyakova M.V.², Zhuikova O.A.¹, Vologzhanina E.N.¹, Krotova N.V.¹¹Federal Agricultural Scientific Center of North-East,
610007, Kirov, ul. Lenina, 166a
E-mail: g.batalova@mail.ru²Falenskaya breeding station – branch of Federal Agricultural Scientific Center of North-East.
612500, s. Falenki, ul. Timiryazeva, 3
E-mail: fss-nauka@mail.ru

Nine cultivars and lines of covered oats are studied in two ecological points of the Kirov region (Kirov city and settlement Falenki). The purpose of researches was to study cultivars and lines of covered oats on adaptability and stability of productivity in parallel competitive test and to select perspective one for use in production. The index of environment conditions (I) changed in 2018 from a negative indicator in Kirov (-10.50) to positive one (3.86) in Falenki; in 2017 it made respectively 3.39 and 3.26. Perspective lines of the intensive type I-4592 and I-4808 are selected having average productivity of 64.4 and 63.8 c/ha, sympathetic for change of environment conditions in a section of years and ecological points ($b_i = 1.59$ and 1.37 ; $S_i^2 = 21.58$ and 9.78). The line I-4808 had productivity 6.0 c/ha higher than the standard, showed higher stress resistance and stability of productivity, than line I-4592 and was transferred to the State test as a cultivar Falenets. Wide range of adaptive opportunities and resistance to stressful factors are noted at the perspective line 2h12o at high average productivity (61.6 c/ha), regression coefficient near to 1 ($b_i = 0.94$) and high genetic flexibility ($(Y_{min} + Y_{max})/2 = 60.2$ c/ha). Cultivars Sapsan, Medved' and Berber are belong to the semi-intensive genotypes capable to form productivity, stable by years. Significant positive correlations between productivity and genetic flexibility ($r = 0.93$), between coefficient of regression and indicators of variation ($r = 0.90$), stability ($r = 0.92$), and insignificant - from variance of stability ($r = 0.09$) are established.

Ключевые слова: овес пленчатый, параллельное конкурсное испытание, урожайность, стабильность, стрессоустойчивость

Key words: covered oats, parallel competitive test, productivity, stability, stress resistance

Особенность современного растениеводства – тенденция снижения устойчивости культурных растений к стрессовым экологическим факторам, что указывает на необходимость селекции сортов, адекватно реагирующих на изменение условий вегетации, поскольку величина и качество урожая есть результат взаимодействия генотип – среда. Актуально экспериментальное получение генотипов, оптимально сочетающих продуктивность и качество продукции с устойчивостью

к действию стрессоров различной природы. Нестабильность агроклиматических ресурсов, разнообразие пахотных почв обусловило применение в создании адаптивных конкурентоспособных генотипов параллельного селекционного процесса в различных экологических точках [1, 2]. Известно, что практическую ценность сорта определяет не только потенциальная урожайность, но и его способность формировать экономически значимую стабильную урожайность вне

зависимости от лимитов окружающей среды [3, 4]. К одному из факторов адаптивности сорта относится стабильность признаков, которую возможно получить при оценке во времени и пространстве реакции генотипа на изменения условий вегетации [5].

Урожайность в значительной степени определяет агроклиматическая составляющая экологических факторов, эффект взаимодействия сорт – условия года [6]. Этот экономически значимый показатель чаще всего используют для оценки отзывчивости генотипа на улучшение условий возделывания, расчета параметров его экологической пластичности и стабильности, оценки эффективности использования сорта в производстве [7, 8]. Показателем устойчивости к неблагоприятным факторам считают отношение величины урожая в условиях стресса к урожаю при его отсутствии, а не абсолютное его значение в стрессовых условиях [9]. У устойчивых к лимитирующим факторам сортов амплитуда отклонений урожайности от нормы при изменении условий вегетации меньше, чем у неустойчивых [10, 11].

Овес широко возделывают в мире и практически повсеместно на территории России. За последние 5 лет урожайность этой культуры увеличилась в стране на 0,9 ц/га, в то время как в 2018 г. получено 17,3 ц/га, что на 2,3 ц/га меньше уровня 2017 г. [<https://agrovesti.net/lib/industrie/cereals>]. Негативно отражается на урожайности и производстве зерна использование для посева потенциально низкоурожайных сортов и сортов, не допущенных в производство, и не сортовых семян [12]. В 2018 г. собрано 4,72 млн т зерна овса с площади 2,99 млн га (<https://agrovesti.net/lib/industrie/cereals>). Это наибольший показатель среди стран производителей овса, затем идут Канада (2,9 млн т) и Австралия (1,4 млн т). Таким образом, три страны обеспечивают 39% мирового урожая данной культуры, который по результатам 2017 г. составил 23 млн т с площади 9,26 млн га (<https://agroxxi.ru/>) или на 2,7 млн т больше уровня 2015 г. (<https://smartlab.ru/uploads/images/01/73/60/2018/>). Около 56% валового сбора зерна овса в России произвели в 2018 г. десять административных территорий, преимущественно сельхозпредприятия Сибири, в том числе 341,9 тыс. т или 7,3% – в Красноярском крае, 331,7 тыс. т или 7% – в Новосибирской области и наибольшее количество зерна овса – 673,9 тыс. т (14,3%) – в Алтайском крае.

Целью настоящей работы было исследование сортов и линий овса пленчатого в параллельном конкурсном испытании по адаптивности и стабильности урожайности и выделение перспективных для использования в производстве.

Методика. В соответствии с методикой Государственного сортоиспытания [13] в двух экологических точках Кировской области: Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого (ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров), расположенный в центральной агроклиматической зоне области, и Фаленская селекционная станция – филиал ФАНЦ Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого (Фаленская СС, п. Фаленки), находящаяся на северо-востоке центральной агроклиматической зоны области, изучено 9 сортов и линий овса пленчатого. Почва опытных участков – дерново-подзолистая среднесуглинистая с pH 4,76 (Киров) и 6,63 (п. Фаленки) на окультуренном фоне и на естественно-кислом – pH 4,13; Al^{3+} в пахотном слое – 13,86 мг/100 г почвы, в подпахотном – 17,73 мг/100 г почвы (п. Фаленки). Влияние факторов окружающей

среды на урожайность оценивали по экологической пластичности (b_i), стабильности (S_i^2), рассчитывали индекс условий среды (I) и среднее квадратическое отклонение (б) [14], определяли стабильность (Y_{min}/Y_{max}) [15], стрессоустойчивость ($Y_{min}-Y_{max}$) и генетическую гибкость $[(Y_{min}+Y_{max})/2]$ [16]. Статистическая обработка данных проведена с использованием пакета селекционно-ориентированных программ AGROS, версия 2.07 и пакета прикладных программ Microsoft Excel из стандартного набора Microsoft Office.

Результаты и обсуждение. Условия вегетации овса различались по годам и экологическим точкам. В 2018 г. индекс условий среды (I) был отрицательным (-10,50) на опытном поле ФАНЦ Северо-Востока и положительным (3,86) для станции, в 2017 г. отмечали равный для двух экологических точек индекс – 3,39 и 3,26 соответственно. Из-за различий в сроках схода снега и сева – 7 мая в оба года исследований в Кирове, в Фаленках – 28 мая в 2017 г. и 22 мая в 2018 г. обеспеченность эффективными температурами и влажностью по фазам развития овса была неодинаковой в двух экологических точках. Показатели гидротермических коэффициентов в период посев – всходы в условиях станции указывают на достаточное увлажнение в 2017 г. (ГТК=1,10) и избыточное – в 2018 г. (ГТК=4,94); фазу полных всходов наблюдали 10 и 3 июня соответственно. Условия первой половины вегетации 2017 г. в Кирове способствовали появлению дружных всходов (24 мая) и формированию продуктивного стеблестоя овса, несмотря на переувлажнение в период от посева до всходов (ГТК=8,21). В 2018 г. отмечали засуху среднего уровня (ГТК=0,67) в конце апреля – первой половине мая, что привело к формированию неравномерных всходов (18 мая) и снижению урожайности.

Средняя для 9 генотипов овса урожайность в 2018 г. на опытном поле ФАНЦ Северо-Востока составила 49,6 ц/га, в 2017 г. – 63,5 ц/га, что близко к показателю урожайности сортов и линий овса в оба года исследований в Фаленках (табл. 1). Наиболее стабильную по годам урожайность сорта и линии овса пленчатого сформировали в условиях Фаленской селекционной станции. Коэффициент вариации составил 16,4% в 2017 г. и 6,0% в 2018 г., в Кирове – 58,6 и 14,6% соответственно. Наибольшая средняя в исследованиях урожайность (64,4 ц/га) и высокая отзывчивость на изменение условий среды в разрезе лет и экологических точек ($b_i=1,59$; генетическая гибкость – 61,4 ц/га) отмечены у линии И-4592 при варьировании показателя от 75,1 до 47,6 ц/га (табл. 2). Полученные результаты свидетельствуют о специфической реакции линии на изменение условий среды, наличии эффекта взаимодействия генотип – среда, при увеличении пластичности отмечено снижение ее устойчивости к стрессовым факторам среды [15, 17]. Все это позволяет отнести линию И-4592 к группе интенсивных генотипов.

Средняя урожайность перспективной линии интенсивного типа И-4808 была на 6,0 ц/га больше стандарта – сорта Кречет на фоне окультуренных почв, на алюмо-кислых почвах составила 35,3 ц/га, прибавка – 5,8 ц/га. Коэффициент регрессии больше 1 ($b_i=1,37$), показатели дисперсии стабильности ($S_i^2=9,78$) и стрессоустойчивости (-21,8 ц/га) указывают на большую стабильность урожайности данной линии ($V=15,6\%$) относительно линии И-4592. По мнению ряда авторов [15, 18], чем меньше показатель S_i^2 , тем более устойчив признак во времени и пространстве, а коэффициент регрессии (b_i) и дисперсия стабильности (S_i^2) отражают разные сторо-

Табл. 1. Урожайность (ц/га) сортов и линий пленчатого овса в питомниках параллельного конкурсного испытания

Сорт, линия	Киров		Фаленки		Средняя	
	2017 г.	2018 г.	2017 г.	2018 г.	величина	+/- к стандарту
Кречет, стандарт	63,2	47,0	59,0	62,2	57,8	
И-4388	64,2	55,3	65,0	62,7	61,8	+4,0
И-4592	75,1	47,6	68,0	67,0	64,4	+6,6
Сапсан	61,2	47,9	61,0	60,4	57,6	-0,2
Медведь	51,1	48,4	64,0	62,1	56,4	-1,4
Бербер	64,0	51,9	60,0	62,7	59,7	+1,9
2h12o	62,2	51,9	64,0	68,4	61,6	+3,8
И-4808	69,2	49,2	71,0	65,7	63,8	+6,0
Аргамак	61,0	47,0	58,0	64,2	57,6	-0,2
Средняя	63,5	49,6	63,3	63,9		
НСР ₀₅	3,7	2,9	3,5	3,1		

ны процесса модификационной адаптации, поскольку корреляция между ними незначима. В исследованиях для этих показателей выявлены несущественная зависимость ($r=0,09$) и значимая ($r=0,93$) – между показателями урожайности и генетической гибкости ($(Y_{\min} + Y_{\max})/2$).

Существенные положительные корреляции определены для коэффициентов регрессии с показателями варьирования ($V\%$) и стабильности урожайности ($(Y_{\min}/Y_{\max})$), отрицательная – со стрессоустойчивостью ($(Y_{\min} - Y_{\max})$) (табл. 3). Корреляции этих показателей с вариацией стабильности (S_i^2) были слабые или средние отрицательные и положительные.

Значительный интерес для продолжения исследований представляет линия 2h12o с высокой средней урожайностью (61,6 ц/га) и коэффициентом регрессии,

Табл. 2. Характеристика адаптивности и стабильности генотипов пленчатого овса

Сорт	b_i	S_i^2	$\bar{b}$	$V, \%$	$Y_{\min} - Y_{\max},$ ц/га	$Y_{\min}/Y_{\max}$	$(Y_{\min} + Y_{\max})/2,$ ц/га
Кречет, стандарт	1,04	4,23	7,45	12,9	-16,2	1,34	55,1
И-4388	0,61	1,85	4,44	7,2	-9,7	1,18	60,2
И-4592	1,59	21,58	11,78	18,3	-27,5	1,58	61,4
Сапсан	0,92	0,48	6,49	11,3	-13,3	1,28	54,6
Медведь	0,77	4,80	7,80	13,8	-15,6	1,06	55,3
Бербер	0,74	3,84	5,43	9,1	-12,1	1,23	58,0
2h12o	0,94	8,62	6,97	11,3	-16,5	1,32	60,2
И-4808	1,37	9,78	9,96	15,6	-21,8	1,44	59,2
Аргамак	1,02	7,82	7,48	13,0	-17,2	1,36	55,6

Табл. 3. Коэффициенты корреляции показателей стабильности урожайности линий и сортов пленчатого овса

Показатель	b_i	V	$Y_{\min} - Y_{\max}$	$Y_{\min}/Y_{\max}$
b_i	1,00			
V	0,90*	1,00		
$Y_{\min} - Y_{\max}$	-0,96*	-0,95*	1,00	
$Y_{\min}/Y_{\max}$	0,92*	0,67*	-0,82*	1,00

*Значимо при $r \geq 0,66$.

близким к 1 ($b_i=0,94$). Линию характеризует высокий показатель генетической гибкости (60,2 ц/га), что указывает на стабильность урожайности по годам и экологическим точкам ($V=11,3\%$), компенсаторную способность генотипа. Перспективная линия имеет более широкий диапазон приспособительных возможностей и устойчивости к стрессовым факторам ($S_i^2=8,62$) окружающей среды, а показатель среднеквадратического отклонения ($\bar{b}=6,97$) свидетельствует о меньшем отклонении максимальной и минимальной урожайности от средней величины при изменении условий выращивания, чем у линий И-4592, И-4808. Это позволяет с высокой долей вероятности прогнозировать урожайность линии 2h12o и указывает на перспективу ее последующего использования в производстве.

К полуинтенсивным генотипам, способным формировать стабильную по годам урожайность ($b_i < 1$, $S_i^2=0,48-4,80$, $V=9,1-13,8\%$, $\bar{b}=5,43-7,80$), отнесены сорта Сапсан, Медведь и Бербер, допущенные в производство в 2016-2019 гг. Их стрессоустойчивость изменялась от 12,1 ц/га у сорта Бербер до 15,6 ц/га у сорта Медведь. Близкие характеристики имели сорта Аргамак и Кречет, включенные в Госреестр в 1996 и 2005 гг. соответственно. Использование в производстве сортов этой группы позволяет планировать производство зерна даже при неблагоприятных условиях.

Таким образом, выделены перспективные линии интенсивного типа: И-4592 с урожайностью 64,4 ц/га, И-4808 с урожайностью 63,8 ц/га, отзывчивые на изменение условий среды в разрезе лет и экологических точек. Линия И-4808 проявила более высокую стрессоустойчивость и стабильность урожайности и передана на Государственное испытание как сорт Фаленец. У перспективной линии 2h12o отмечен широкий диапазон приспособительных возможностей и устойчивость к стрессовым факторам ($S_i^2=8,62$; $Y_{\min} - Y_{\max}=16,5$ ц/га) при средней урожайности 61,6 ц/га, коэффициенте регрессии, близком к 1 ($b_i=0,94$), и высокой генетической гибкости (60,2 ц/га), что указывает на перспективу ее использования в производстве. Новые сорта овса пленчатого Сапсан, Медведь и Бербер отнесены к полуинтенсивным генотипам, способным формировать стабильную по годам урожайность. Использование в производстве сортов этой группы позволяет с высокой долей вероятности прогнозировать производство зерна в варьирующих условиях окружающей среды. Установлена значимая корреляция ($r=0,93$) между урожайностью и генетической гибкостью генотипа ($(Y_{\min} + Y_{\max})/2$).

Литература

1. Пакуль В.Н., Мартынова С.В., Андросов Д.Е. Оценка адаптивной способности и стабильности ярового ячменя в условиях северной лесостепи Кузнецкой котловины // *Достижения науки и техники АПК*. – 2018. – Т. 32. – N. 1. – С. 32-34.
2. Pereira H.S., Alvares R.C., Silva F.C., de Faria L.C., Melo L.C. Genetic, environmental and genotype x environment interaction effects on the common bean grain yield and commercial quality // *Semina: Ciencias Agrarias, Londrina*. – 2017. – V. 38. – N. 3. – P. 1241-1250.
3. Admas S., Tesfaye K. Genotype-by-environment interaction and yield stability analysis in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) genotypes in North Shewa, Ethiopia // *Acta Universitatis Sapientiae. Agriculture and Environment*. 2017. – N. 9. – P. 82-94.
4. Gedif M., Yigzaw D., Tsige G. Genotype-environment interaction and correlation of 625 some stability parameters of total starch yield in potato in Amhara region, Ethiopia // *Plant Breed. Crop Sci.* – 2014. – N. 6(3). – P. 31-40.
5. Hinch D.K., Zuther E., Obel N. Fructans from Oat and rye: Composition and Effects on Membrane Stability during drying // *Biochimica et Biophysica Acta (bba) Biomembranes*. – 2007. – V. 178 (6). – P. 1611-1619. <https://doi.org/10.1016/j.bbamem.2007.03.011>.
6. Des Marais D.L., Hernandez K.H., Juenger T.E. Genotype-by-environment interaction and plasticity: exploring genomic responses of plants to the abiotic environment // *Annual Rev. Ecol. Evol. Syst.* – 2013. – V. 44. – P. 5-29.
7. Povilaitis V. Relationship between Spring Barley productivity and Growing management in Lithuania's Lowland // *Acta Agriculturae scandinavica. Section b: Soil and Plant Science*. – 2018. – N. 1 (68). – P. 86-95. <https://elibrary.ru/contents.asp?id=34798231>.
8. Hill C.B., Li C. Genetic Architecture of Flowering Phenology in cereals and Opportunities for crop Improvement // *Frontiers in Plant Science*. – 2016. – N. 7. – P. 1906 <https://elibrary.ru/contents.asp?id=34429344>
9. Lorenz A.J., Smith K.P. Adding Genetically Distant Individuals to Training 668 Populations Reduces Genomic Prediction Accuracy in Barley // *Crop Sci.* – 2015. – V. 55. – P. 2657-2667.
10. Muslimov M.G., Taimazova N.S., Arnautova G.I. Comparative Characteristics of Productivity Elements among film and Huskless forms of Oat // *International Journal of Ecology and Development*. – 2017. – V. 32. – N 4. – P. 130-137 <https://elibrary.ru/contents.asp?id=34591925>.
11. Gadisovich M.B., Kurkiev K.U., Muslimov M.G. Comparative Characteristics of Productivity Elements among film and Huskless forms of Oat // *International Journal of Green Pharmacy*. – 2017. – V. 11. – N 3. – P. 502-507 - <https://elibrary.ru/contents.asp?id=34587262>
12. Николаев Ю.Н., Андросов О.В. Семеноводство и питомниководство РФ: аналитическая статистика // *Вестник Россельхозцентра*. – 2018. – N. 1. – С.13-16.
13. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур, 1985. – 230 с.
14. Пакудин В.З., Лопатина Л.М. Оценка экологической пластичности и стабильности сортов сельскохозяйственных культур // *Сельскохозяйственная биология*. – 1984. – N. 4. – С. 109-113. <https://yandex.ru/search/?text=%D0%9FA1.%20109-113.&lr=46&clid=2242347>.
15. Сапега В.А. Генотип-средовое взаимодействие, урожайность и адаптивный потенциал сортов яровой пшеницы // *Российская сельскохозяйственная наука*. – 2019. – N. 3. – С. 10-15. DOI: 10.31857/S2500-26272019310-15.
16. Гончаренко А.А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур // *Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук*. – 2005. – №6. – С. 49-53.
17. Соколенко Н.И., Комаров Н.М. Исходный материал для селекции озимой пшеницы на продуктивность и важнейшие адаптивные признаки // *Достижения науки и техники АПК*. – 2016. – Т. 30. – N. 9. – С. 26-29.
18. Сайнакова А.Б., Литвинчук О.В. Оценка экологической пластичности и стабильности коллекционных образцов овса по массе 1000 зерен // *Вестник Кемеровского государственного университета*. – 2015. – №4 (64). – Т.3. – С. 72-74.

Поступила в редакцию 09.09.19
Принята к публикации 30.10.19

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СПОСОБА ПРОГНОЗА СОДЕРЖАНИЯ СЫРОЙ КЛЕЙКОВИНЫ В ЗЕРНЕ ПШЕНИЦЫ

А.В. Пасынков¹, доктор биологических наук, **А.А. Завалин²**, академик РАН,
Е.Н. Пасынкова³, доктор биологических наук

¹Агрофизический научно-исследовательский институт,
195220, Санкт-Петербург, Гражданский проспект, 14

²Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова,
127550, Москва, ул. Прянишникова, 31

³Ленинградский научно-исследовательский институт сельского хозяйства «Белогорка»,
188338, п. Белогорка, Ленинградская область, ул. Институтская, 1
E-mail: pasynkova.elena@gmail.com

Обсуждена возможность использования разработанного и усовершенствованных уравнений множественной нелинейной регрессии, отражающих зависимость содержания сырой клейковины от содержания белка и массы 1000 зерен, для прогноза содержания клейковины в зерне пшеницы. Представлен алгоритм и результаты проверки прогностических возможностей уравнений по независимым данным. Обобщение данных 265 литературных источников отечественных и зарубежных авторов с общим числом наблюдений 4630 на более чем 300 сортах озимой и яровой пшеницы, выращенной с 1959 по 2016 г. в различных почвенно-климатических зонах России и за рубежом (Беларусь, Болгария, Казахстан, Польша, Словакия и Украина) при модификационных и генотипических различиях, показало, что число значений, выходящих за пределы, регламентируемые ГОСТ Р 54478 - 2011 «Зерно. Методы определения количества и качества клейковины в пшенице» ($\pm 2\%$), составляет 844 или 18,5%. Таким образом, прогноз верен в 81,5% случаях. Разработанные уравнения множественной нелинейной регрессии можно использовать для ориентировочного определения (прогноза) содержания сырой клейковины даже при условии, что ее величина, а также содержание белка в зерне пшеницы и масса 1000 зерен приведены при фактической или фиксированной влажности или при пересчете на абсолютно сухое вещество.

IMPROVING THE METHOD OF FORECAST OF WET GLUTEN CONTENT IN WHEAT GRAIN

Pasynkov A.V.¹, Zavalin A.A.², Pasynkova E.N.³

¹Agrophysical Research Institute,
195220, Sankt-Peterburg, Grazhdanskij pr., 14

²All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov,
127550, Moskva, ul. Pryanishnikova, 31

³Leningrad Scientific Research Institute of Agriculture «Belogorka»,
188338, Leningradskaya oblast, p. Belogorka, ul. Institutskaya, 1
E-mail: pasynkova.elena@gmail.com

The possibility of using the developed and improved equations of multiple nonlinear regression, reflecting the dependence of the content of wet gluten on the protein content and the 1000-grain weight, to forecast its (wet gluten) content in wheat grain is discussed. The algorithm and the results of testing the predictive capabilities of equations using independent data are presented. Data compilation of 265 literature sources of domestic and foreign authors with a total number of observations $n = 4630$ on more than three hundred varieties of winter and spring wheat grown in the period from 1959 to 2016 in various soil-climatic zones of Russia and abroad (Belarus, Bulgaria, Kazakhstan, Poland, Slovakia and Ukraine) with the modification and genotypic differences showed that the number of values that go beyond the limits regulated by GOST R 54478 - 2011 «Grain. The methods of determining the quantity and quality of gluten in wheat» ($\pm 2\%$) was 844 or 18,5%. Thus, the predictability of the forecast reached 81,5%. The developed equations of multiple nonlinear regression can be used for an approximate determination (forecast) of the content of wet gluten in almost all cases: when the results of the analysis of protein content and wet gluten in wheat grain, as well 1000-grain weight are given at actual or fixed humidity, or when converted to dry matter.

Ключевые слова: пшеница, белок, масса 1000 зерен, сырая клейковина, множественный регрессионный анализ, прогноз содержания клейковины

Key words: wheat, protein, 1000-grain weight, wet gluten, multiple regression analysis, forecast of wet gluten content

Содержание сырой клейковины, наряду с содержанием белка, натурой, стекловидностью и числом падения служит одним из наиболее важных показателей качества зерна пшеницы в России (ГОСТ Р 52554-2006. «Пшеница. Технические условия»). Для определения содержания сырой клейковины в большинстве стран (Россия, Казахстан, Польша, Украина и др.) наиболее распространен метод с использованием ручного или механического ее отмывания. Однако ручной метод отмывания клейковины довольно трудоемкий, характеризуется сравнительно низкой производительностью, а обе модификации метода – невысокой воспроизводимостью [1].

В работе [2] отмечено, что большую практическую значимость может иметь создание системы уравнений

регрессии, позволяющих прогнозировать наиболее важные показатели качества зерна на основе зависимостей изменений отдельных (наиболее простых и экспрессных в определении) качественных признаков, которые в свою очередь должны быть тесно связаны с условиями выращивания: содержание белка, регламентируемое ГОСТ Р 52554-2006 и определяющее пригодность зерна пшеницы для хлебопечения, и масса 1000 зерен.

Известно, что в большинстве случаев зависимости между различными показателями в биологических системах наиболее точно отражают нелинейные уравнения (логарифмические, полинома половинной степени, второго порядка и т.д.) [3]. Не претендуя на полноту изложения литературных данных по вопро-

сам прогнозирования содержания сырой клейковины в зерне пшеницы, в научной литературе нам не удалось найти сведений, подтверждающих существование нелинейных уравнений множественной регрессии, которые описывали бы ее зависимость от содержания белка и массы зерновки.

Целью настоящего исследования было совершенствование уравнения множественной нелинейной регрессии, отражающего зависимость содержания сырой клейковины в зерне пшеницы от содержания белка и массы 1000 зерен.

Методика. Для разработки уравнений регрессии использовали экспериментальные данные, полученные при проведении полевых опытов с яровой пшеницей в лаборатории агрохимии Зонального НИИСХ Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого (г. Киров) и Фаленской государственной селекционной станции (п. Фаленки, Кировская область) [4]. Содержание белка в зерне определяли в соответствии с ГОСТ 10846 - 91, сырой клейковины – ГОСТ 13586.1 - 68; массу 1000 зерен – ГОСТ 10842 - 89. Для выявления зависимостей содержания клейковины в зерне пшеницы (зависимая переменная – Y) от содержания белка и массы 1000 зерен (независимые переменные – X_1 и X_2 соответственно) применяли множественный регрессионный анализ, алгоритм которого реализован в пакете статистических программ «Statistica 6» (Stat-Soft Inc., США). Более подробно условия и методика проведения начального этапа исследований, а также некоторые их промежуточные результаты опубликованы ранее [4-6].

Результаты и обсуждение. Проведение статистической обработки полученных данных и проверка прогностических возможностей уравнений показали [4-6], что наиболее точно зависимость содержания сырой клейковины (Y , %) в зерне пшеницы от содержания белка ($X_1 = N_{\text{белк}}$, 5,7, %) и массы 1000 зерен (X_2 , г) отражает уравнение множественной нелинейной регрессии, в котором содержание белка, сырой клейковины и масса 1000 зерен приведены к 12%-ной влажности:

$$Y(1) = -41,928 + 0,081X_1^2 + 2,548X_2 - 0,028X_2^2. \quad (\text{рис. 1.1})$$

Приведение всех показателей качества зерна к постоянной влажности (12%) обусловлено тем, что согласно ГОСТ 13586.1 - 68 и новому ГОСТ Р 54478 - 2011 «Зерно. Методы определения количества и качества клейковины в пшенице», содержание сырой клейковины в зерне рекомендуется определять без учета влажности. Кроме того ГОСТ 10846 - 91 «Метод определения белка» и новый ГОСТ ISO 520 - 2014 «Определение массы 1000 зерен», введенный взамен ГОСТ 10842 - 89, регламентируют определение содержания белка в зерне и массы 1000 зерен как при фактической влажности, так и в пересчете на абсолютно сухое вещество (а.с.в.).

Анализ полученного уравнения показал, что зависимость содержания клейковины в зерне пшеницы от содержания белка носит нелинейный характер: каждое последующее возрастание белка (на единицу) приводит к большему ее увеличению по сравнению с предыдущим ($+X_1^2$). Обнаруженная закономерность подтверждает известное положение о том, что повышение содержания белка в зерне пшеницы в большей степени происходит за счет возрастания доли клейковинных белков (проламинов и глютеинов), приводящее к непропорциональному увеличению содержания сырой клейковины [7, 8]. Независимо от содержания белка с возрастанием массы 1000 зерен от ее минимальных ве-

личин содержание клейковины повышается. При этом с каждым последующим увеличением массы 1000 зерен наблюдается замедление темпов роста накопления клейковины в зерне ($+X_2 - X_2^2$). После того, как масса 1000 зерен достигает точки экстремума (45,5 г), каждое последующее ее повышение (на единицу) приводит к большему снижению содержания сырой клейковины в зерне по сравнению с предыдущим (рис. 1.1).

На следующем этапе исследований был разработан алгоритм проверки точности прогноза содержания сырой клейковины в зерне пшеницы по независимым результатам [5, 6]. То есть мы использовали данные по содержанию белка, сырой клейковины и массе 1000 зерен, полученные другими авторами при проведении полевых экспериментов с иными сортами пшеницы и в иных временных рамках и почвенно-климатических условиях. Подставляя полученные экспериментальным путем данные по содержанию белка и массе 1000 зерен в уравнение регрессии и используя простые математические действия, рассчитываем ориентировочное содержание сырой клейковины в зерне пшеницы без использования ручного или механического ее от-мывания.

Критерий оценки точности разработанного уравнения множественной регрессии – регламентируемое как предыдущим ГОСТ 13586.1 - 68, так и новым ГОСТ Р 54478 - 2011 отклонение: «Оба результата признают приемлемыми, если критическая разность результатов определений по количеству клейковины ... не превышает 2%» в абсолютном выражении. Максимально быстро провести расчеты с высокой точностью и проверку прогноза содержания клейковины в зерне пшеницы можно с использованием программы «Excel» (табл. 1, 2, 4).

Точность прогнозирования содержания сырой клейковины в зерне пшеницы по уравнению (1) проверена по независимым данным (табл. 1). Обобщение данных 131 литературного источника отечественных и зарубежных авторов с общим числом наблюдений 2556 на более чем 100 сортах озимой и яровой пшеницы, выращенной с 1959 по 2017 г. в различных почвенно-климатических зонах России и за рубежом при модификационных и генотипических различиях, показало, что число значений, выходящих за пределы, регламентируемые ГОСТ Р 54478 - 2011 ($\pm 2\%$), составляет 474 или 18,5% от общего числа наблюдений (табл. 3). Таким образом, оправдываемость прогноза у уравнения (1) составила 81,5%.

Если содержание белка и (или) масса 1000 зерен рассчитаны на а.с.в., как регламентируют стандарты (ГОСТ 10846 - 91 и ГОСТ ISO 520 - 2014 соответственно), то при использовании уравнения (1) для прогноза содержания сырой клейковины в зерне пшеницы необходимо перерасчет содержания белка и (или) массы 1000 зерен с применением коэффициентов 0,88 (табл. 2 и 4) и 1,136 соответственно. С целью исключения перерасчета в тех случаях, когда содержание сырой клейковины и масса 1000 зерен определены без учета влажности зерна, а содержание белка рассчитано на а.с.в., применимо следующее уравнение (2):

$$Y(2) = -41,928 + 0,063X_1^2 + 2,548X_2 - 0,028X_2^2 \quad (\text{рис. 1.2})$$

Проверка прогностических возможностей уравнения (2) по данным 134 литературных источников отечественных и зарубежных авторов с общим числом наблюдений 2074 на более чем 200 сортах озимой и яровой пшеницы, выращенных с 1971 по 2016 г. в

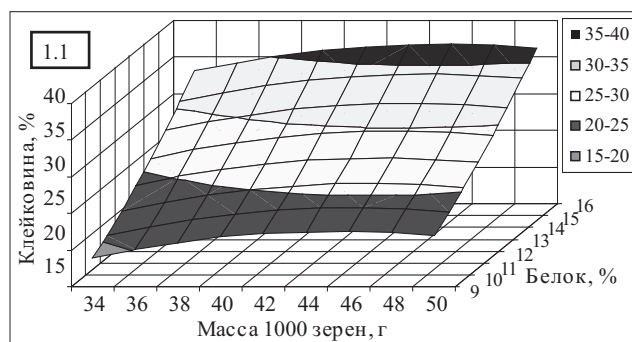


Рис. 1.1. Зависимость содержания сырой клейковины от содержания белка и массы 1000 зерен (уравнение 1)

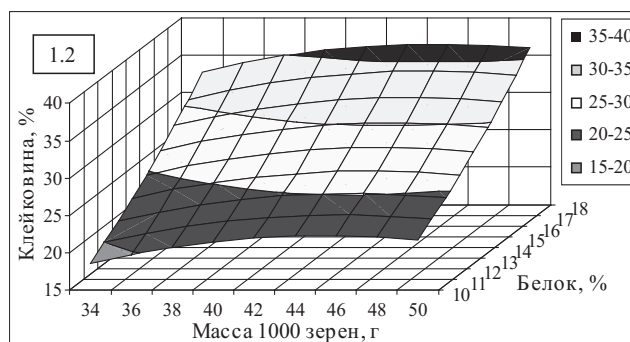


Рис. 1.2. Зависимость содержания сырой клейковины от содержания белка и массы 1000 зерен (уравнение 2)

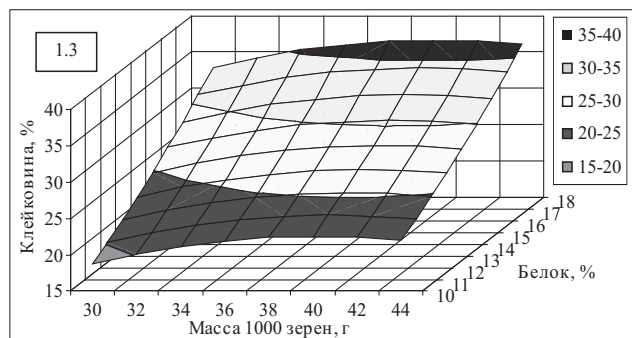


Рис. 1.3. Зависимость содержания сырой клейковины от содержания белка и массы 1000 зерен (уравнение 3)

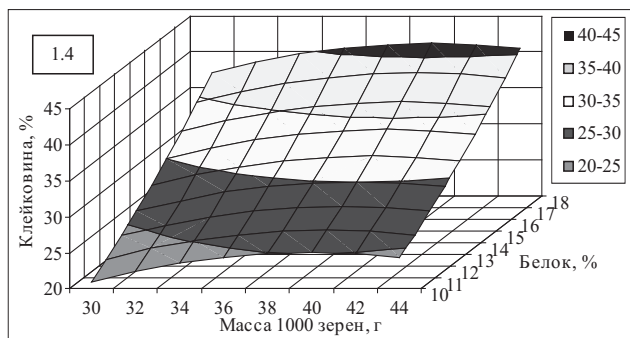


Рис. 1.4. Зависимость содержания сырой клейковины от содержания белка и массы 1000 зерен (уравнение 4)

Табл. 1. Алгоритм проверки точности прогноза содержания сырой клейковины в зерне пшеницы ($Y(1) = -41,928 + 0,081X_1^2 + 2,548X_2 - 0,028X_2^2$)

Данные по X_1 , X_2 и $Y_{\text{т}}$ из работы [9], 9 сортов (Россия)					Данные по X_1 , X_2 и $Y_{\text{э}}$ из работы [10], сорт Astrella (Словакия)				
X_1	X_2	$Y_{\text{т}}$	$Y_{\text{э}}$	$(Y_{\text{э}} - Y_{\text{т}})$	X_1	X_2	$Y_{\text{т}}$	$Y_{\text{э}}$	$(Y_{\text{э}} - Y_{\text{т}})$
13,0	35,0	26,6	28,0	1,4	10,3	36,6	22,4	22,6	0,2
12,0	34,0	24,0	25,0	1,0	10,4	37,8	23,1	23,5	0,4
17,0	35,0	36,4	36,0	- 0,4	10,1	37,2	22,4	23,1	0,7
11,0	35,0	22,8	22,0	- 0,8	10,3	37,6	22,9	23,5	0,6
12,0	35,0	24,6	25,0	0,4	10,4	36,9	22,7	25,5	2,8
13,0	38,0	28,2	28,0	- 0,2	10,8	36,9	23,4	24,3	0,9
13,0	35,0	26,6	27,0	0,4	10,4	38,6	23,5	23,8	0,3
13,0	34,0	26,0	28,0	2,0	n = 7	ЧЗ	1	ОП	83,7
15,0	32,0	29,2	32,0	2,8	Данные по X_1 , X_2 и $Y_{\text{э}}$ из работы [12], сорт Orkisz (Польша)				
n = 9	ЧЗ	1	ОП	88,9	12,37	39,7	27,5	27,5	0,0
Данные по X_1 , X_2 и $Y_{\text{э}}$ из работы [11], сорт Полесская 90 (Украина)					13,28	39,3	29,2	30,2	1,0
11,3	38,0	24,8	24,8	0,0	12,60	40,3	28,1	28,6	0,5
11,7	39,1	26,0	25,0	- 1,0	12,31	39,6	27,3	27,8	0,5
11,6	38,5	25,6	24,1	- 1,5	13,00	39,3	28,7	29,4	0,7
11,4	39,7	25,6	24,2	- 1,4	12,88	40,0	28,6	29,1	0,5
11,7	39,1	26,0	25,5	- 0,5	n = 6	ЧЗ	0	ОП	100
n = 5	ЧЗ	0	ОП	100					

Примечание. n – общее число наблюдений; X_1 – содержание белка в зерне, %; X_2 – масса 1000 зерен, г; $Y_{\text{т}}$ – теоретическое содержание сырой клейковины (расчет по уравнению регрессии), %; $Y_{\text{э}}$ – экспериментальное содержание клейковины, %; $(Y_{\text{э}} - Y_{\text{т}})$ – отклонение экспериментальных величин от теоретических, ±; выделенные значения выходят за пределы ± 2%; ЧЗ – число значений, выходящих за пределы ± 2%; ОП – оправдаемость прогноза, % (то же в тексте и табл. 2 и 4).

Табл. 2. Алгоритм проверки точности прогноза содержания сырой клейковины в зерне пшеницы ($Y(1) = -41,928 + 0,081X_1^2 + 2,548X_2 - 0,028X_2^2$)

Данные по X_1 , X_2 и $Y_{\text{т}}$ из работы [13], сорт Юбилейная 100 (Россия)					Данные по X_1 , X_2 и $Y_{\text{э}}$ из работы [14], 8 сортов (Болгария)				
X_1	X_2	$Y_{\text{т}}$	$Y_{\text{э}}$	$(Y_{\text{э}}-Y_{\text{т}})$	X_1	X_2	$Y_{\text{т}}$	$Y_{\text{э}}$	$(Y_{\text{э}}-Y_{\text{т}})$
14,7/12,94	39,9	28,7	28,3	- 0,4	15,8/13,90	38,6	30,4	30,1	- 0,3
14,6/12,85	39,7	28,5	28,2	- 0,3	16,9/14,87	40,9	33,4	33,1	- 0,3
14,7/12,94	39,4	28,6	28,0	- 0,6	16,3/14,34	34,9	29,5	31,4	1,9
14,9/13,11	40,1	29,1	29,3	0,2	14,9/13,11	39,4	28,9	28,8	- 0,1
14,8/13,02	39,8	28,9	29,3	0,4	15,0/13,20	38,9	28,9	28,3	- 0,6
14,4/12,67	39,2	27,9	29,0	1,1	18,0/15,84	36,6	34,1	35,7	1,6
14,7/12,94	38,0	28,0	26,7	- 1,3	16,7/14,70	34,6	30,2	31,3	1,1
14,6/12,85	37,5	27,6	26,8	- 0,8	17,7/15,58	37,6	34,0	33,8	- 0,2
14,7/12,94	37,3	27,7	26,6	- 1,1	n = 8	ЧЗ	0	ОП	100
n = 9	ЧЗ	0	ОП	100	Данные по X_1 , X_2 и $Y_{\text{э}}$ из работы [16], озимая пшеница (Казахстан)				
Данные по X_1 , X_2 и $Y_{\text{э}}$ из работы [15], 12 сортов (Украина)					13,6/11,97	42,8	27,4	26,0	- 1,4
14,1/12,41	45,5	28,5	30,4	1,9	14,9/13,11	43,2	29,8	30,6	0,8
15,3/13,46	42,2	30,4	28,1	- 2,3	14,7/12,94	42,3	29,3	29,5	0,2
13,2/11,62	45,9	27,0	28,5	1,5	14,7/12,94	42,1	29,3	29,8	0,5
13,6/11,97	47,1	27,6	28,5	0,9	14,7/12,94	42,6	29,4	29,6	0,2
13,8/12,14	40,8	27,4	27,6	0,2	14,8/13,02	44,3	29,7	29,9	0,2
13,8/12,14	45,9	28,0	27,7	- 0,3	14,8/13,02	43,9	29,7	30,3	0,6
13,8/12,14	43,8	27,9	28,7	0,8	13,1/11,53	43,2	26,7	27,3	0,6
14,0/12,32	44,0	28,3	27,7	- 0,6	14,7/12,94	42,6	29,4	29,5	0,1
13,2/11,62	44,1	26,9	25,7	- 1,2	14,4/12,67	43,0	28,9	28,9	0,0
13,6/11,97	44,9	27,6	27,1	- 0,5	14,9/13,11	43,7	29,9	30,8	0,9
13,3/11,70	46,8	27,1	28,3	1,2	14,4/12,67	43,2	28,9	29,1	0,2
14,5/12,76	42,6	29,0	28,6	- 0,4	15,4/13,55	40,6	30,2	31,2	1,0
n = 12	ЧЗ	1	ОП	91,7	n = 13	ЧЗ	0	ОП	100

Примечание. В колонке X_1 – а.с.в / 12%-ная влажность зерна.

различных почвенно-климатических зонах России и за рубежом при модификационных и генотипических различиях, показала, что число значений, выходящих за пределы, регламентируемые ГОСТ Р 54478 - 2011 ($\pm 2\%$), составляет 370 или 17,8% от общего числа наблюдений (табл. 3). Таким образом, оправдываемость прогноза у уравнения (2) составила 82,2%, то есть была практически такой же, как и уравнения (1).

С целью исключения перерасчета содержания белка и массы 1000 зерен, когда их величины приведены к а.с.в., а содержание сырой клейковины определено без учета влажности зерна, было рассчитано уравнение

(3), а когда все показатели качества приведены к а.с.в. – уравнение (4):

$$Y(3) = -41,965 + 0,063X_1^2 + 2,894X_2 - 0,036X_2^2, \quad (\text{рис. 1.3})$$

$$Y(4) = -47,585 + 0,072X_1^2 + 3,276X_2 - 0,041X_2^2. \quad (\text{рис. 1.4})$$

Необходимо отметить, что точки экстремума по величине массы 1000 зерен у уравнений (3) и (4) по сравнению с уравнениями (1) и (2) сместились в область меньших значений и составили 40,19 и 39,95 г соответственно.

Табл. 3. Результаты оценки прогностических возможностей уравнений

Количество литературных источников	Общее число наблюдений (n)	Число значений, выходящих за пределы $\pm 2\%$	Оправдываемость прогноза, %
$Y(1) = -41,928 + 0,081X_1^2 + 2,548X_2 - 0,028X_2^2$			
131	2556	474	81,5
$Y(2) = -41,928 + 0,063X_1^2 + 2,548X_2 - 0,028X_2^2$			
134	2074	370	82,2
Итого: 265	4630	844	81,8

Табл. 4. Сравнительная оценка точности прогноза различных уравнений

Данные по X_1 , X_2 и $Y_{\text{э}}$ из работы [17], $n = 6$. 6 сортов озимой пшеницы (Россия)											
$Y(1) = -41,928 + 0,081X_1^2 + 2,548X_2 - 0,028X_2^2$						$Y(2) = -41,928 + 0,063X_1^2 + 2,548X_2 - 0,028X_2^2$					
X_1	X_2	$Y_{\text{т}}$	$Y_{\text{э}}$	$(Y_{\text{э}} - Y_{\text{т}})$	$(Y_{\text{э}} - Y_{\text{т}})^2$	X_1	X_2	$Y_{\text{т}}$	$Y_{\text{э}}$	$(Y_{\text{э}} - Y_{\text{т}})$	$(Y_{\text{э}} - Y_{\text{т}})^2$
13,6/11,97	42,2	27,3	28,0	0,7	0,49	13,6	42,2	27,4	28,0	0,6	0,36
13,8/12,14	45,7	28,0	26,5	- 1,5	2,25	13,8	45,7	28,0	26,5	- 1,5	2,25
14,5/12,76	45,5	29,2	31,5	2,3	5,29	14,5	45,5	29,3	31,5	2,2	4,84
13,6/11,97	49,4	27,2	28,8	1,6	2,56	13,6	49,4	27,3	28,8	1,5	2,25
14,0/12,32	41,9	28,0	28,5	0,5	0,25	14,0	41,9	28,0	28,5	0,5	0,25
14,1/12,41	40,6	27,8	28,4	0,6	0,36	14,1	40,6	27,9	28,4	0,5	0,25
ЧЗ	1	ОП	83,3	Σ	11,20	ЧЗ	1	ОП	83,3	Σ	10,20
Данные по X_1 , X_2 и $Y_{\text{э}}$ из работы [18], $n = 8$. Сорт Рассвет (Беларусь)											
8,4 / 7,39	38,1	18,9	17,7	- 1,2	1,44	8,4	38,1	19,0	17,7	- 1,3	1,69
11,6/10,21	43,8	24,4	25,6	1,2	1,44	11,6	43,8	24,4	25,6	1,2	1,44
11,5/10,12	41,4	23,9	26,2	2,3	5,29	11,5	41,4	23,9	26,2	2,3	5,29
10,8 / 9,50	42,1	23,0	25,1	2,1	4,41	10,8	42,1	23,1	25,1	2,0	4,00
12,3/10,82	42,5	25,3	26,2	0,9	0,81	12,3	42,5	25,3	26,2	0,9	0,81
13,3/11,70	41,5	26,7	27,2	0,5	0,25	13,3	41,5	26,7	27,2	0,5	0,25
13,5/11,88	42,7	27,3	27,6	0,3	0,09	13,5	42,7	27,3	27,6	0,3	0,09
11,5/10,12	42,9	24,1	25,4	1,3	1,69	11,5	42,9	24,2	25,4	1,2	1,44
ЧЗ	2	ОП	75,0	Σ	15,42	ЧЗ	1	ОП	87,5	Σ	15,01
Данные по X_1 , X_2 и $Y_{\text{э}}$ из работы [19], $n = 7$. Сорты Radunia и Tybalt (Польша)											
11,0/9,68	35,9	21,0	21,5	0,5	0,25	11,0	35,9	21,1	21,5	0,4	0,16
12,3/10,82	37,1	23,6	24,7	1,1	1,21	12,3	37,1	23,6	24,7	1,1	1,21
11,8/10,38	37,6	23,0	25,5	2,5	6,25	11,8	37,6	23,1	25,5	2,4	5,76
12,7/11,18	39,2	25,0	25,1	0,1	0,01	12,7	39,2	25,1	25,1	0,0	0,00
13,2/11,62	39,5	26,0	26,7	0,7	0,49	13,2	39,5	26,0	26,7	0,7	0,49
14,0/12,32	42,6	28,1	27,9	- 0,2	0,04	14,0	42,6	28,2	27,9	- 0,3	0,09
14,6/12,85	41,1	28,9	29,8	0,9	0,81	14,6	41,1	28,9	29,8	0,9	0,81
ЧЗ	1	ОП	85,7	Σ	9,06	ЧЗ	1	ОП	85,7	Σ	8,52

Примечание. В колонке X_1 – а.с.в./12%-ная влажность зерна; $(Y_{\text{э}} - Y_{\text{т}})^2$ – квадрат отклонений экспериментальных величин от теоретических; Σ – сумма квадратов отклонений.

В табл. 4 представлены результаты сравнительной оценки точности уравнений (1) и (2) между собой по следующим критериям [3, 6]: оправдываемость прогноза – отношение количества значений, когда отклонения экспериментальных величин содержания сырой клейковины в зерне пшеницы от теоретических ($Y_{\text{э}} - Y_{\text{т}}$) не превышали регламентируемое ГОСТ Р 54478 - 2011 отклонение ($\pm 2\%$) к общему числу наблюдений (n), выраженное в %; сумма квадратов отклонений экспериментальных величин содержания сырой клейковины ($Y_{\text{э}}$) в зерне пшеницы от теоретических ($Y_{\text{т}}$) (прогнозных или рассчитанных по соответствующему уравнению регрессии) или $\Sigma(Y_{\text{э}} - Y_{\text{т}})^2$. Сравнение точности прогноза разработанных уравнений показало,

что уравнение (2) – в половине случаев более точное, чем уравнение (1), предполагающее перерасчет содержания белка (табл. 2). Следует отметить, что в табл. 4 приведены лишь три типичных примера, обнаруженных при сравнительной оценке прогностических возможностей уравнений (1) и (2).

Таким образом, разработанные уравнения множественной нелинейной регрессии могут быть использованы для ориентировочного определения (прогноза) содержания сырой клейковины практически во всех случаях, когда результаты анализа содержания белка и сырой клейковины в зерне пшеницы, а также масса 1000 зерен приведены при фактической или фиксированной влажности или при пересчете на сухое вещество.

Литература

1. Колмаков Ю.В. Оценка материала пшеницы в селекции и повышение потенциала его качества в зернопроизводстве и хлебопечении. – Омск: Изд-во ОмГАУ, 2007. – С. 5-19.
2. Беgeулов М.Ш. Статистический анализ технологических показателей качества зерна // *Агрохимия*. – 2002. – № 10. – С. 68-73.
3. Иванова Т.И. Прогнозирование эффективности удобрений с использованием математических моделей. – М.: Агропромиздат, 1989. – 234 с.
4. Пасынков А.В., Пасынкова Е.Н. Статистические зависимости основных показателей качества зерновых культур // *Агрохимия*. – 2011. – № 2. – С. 24-40.
5. Пасынков А.В., Дубовик Д.В., Пасынкова Е.Н. Прогноз содержания сырой клейковины в зерне пшеницы на основе уравнений множественной регрессии // *Вестник Курской ГСХА*. – 2017. – № 4. – С. 8-14.
6. Пасынков А.В., Пасынкова Е.Н. Особенности использования уравнений множественной регрессии для прогноза содержания сырой клейковины в зерне пшеницы // *Агрохимический вестник*. – 2018. – № 3. – С. 69-74. DOI 10.24411/0235-2516-2018-10016.
7. Павлов А.Н. Повышение содержания белка в зерне. – М.: Наука, 1984. – 119 с.
8. Труфанов В.А. Клейковина пшеницы: проблемы качества. – Новосибирск: Наука, 1994. – 167с.
9. Коряковцева Л.А. Перспективные гибридные линии яровой мягкой пшеницы // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. – 2009. – № 1 (12). – С. 15-17.
10. Dicsay L., Lozek J. Effect of topdressing with nitrogen of the yield and quality of winter wheat grain // *Plant soil environment*. – 2004. – N. 7 (50). –P. 309-314.
11. Литвинов Д.В., Вишневский П.С., Буслаева Н.Г. Урожайность и качество зерна пшеницы озимой при возделывании в короткоротационных севооборотах левобережной лесостепи Украины // *Земледелие и селекция в Беларуси*. – 2014. – № 50. – С. 9-17.
12. Stępień A., Wojtkowia K., Skłodowski M. Mirosław Pietrusewicz. Wpływ dolistnego nawożenia cu, zn i mn na wskaźniki jakościowe ziarna i elementy plonowania pszenicy ozimej orkisz (*Triticum aestivum* ssp. *spelta* L.) // *Fragm. Agronom.* – 2017. – N. 34 (3). – S. 97-108.
13. Богданов В.А. Урожайность и качество зерна сортов озимой пшеницы в зависимости от сроков и норм посева в южной зоне Ростовской области: автореф. дисс. ... к.с.-х.н. - п. Персиановский, 2009. – 18 с.
14. Mangova M., Petrova I. Detection of Quality Diversity of Durum Wheat (*Triticum durum* Desf.) Using Cluster and Principal Component Analyses // *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. – 2007. – N. 13. – P. 301-308.
15. Ремесло В.Н. Результаты, перспективы и пути ускорения селекции озимой пшеницы / *Селекция и сортовая агротехника озимой пшеницы*. – М.: Колос, 1979. – С. 8-19.
16. Елешев Р.Е., Балгабаев А.М., Мамбетов К.Б. Влияние длительного применения удобрений на качество зерна озимой пшеницы, возделываемой в свекловичном севообороте // *Известия национальной Академии наук Республики Казахстан*. – 2014. Серия аграрных наук. – № 3 (21). – С. 24-27.
17. Власова Л.М. Урожай и качество зерна озимой твердой пшеницы в лесостепи ЦЧР в зависимости от нормы высева семян и листовых подкормок: автореф. дисс. ... к. с.-х. н. – Воронеж, 2013. – 23 с.
18. Лапа В.В. Исследования экологических функций агрохимии в полевых опытах с удобрениями в республике Беларусь // *Проблемы агрохимии и экологии*. – 2009. – № 3. – С. 7-10.
19. Jan Buczek, Dorota Bobrecka-Jamro, Waclaw Jarecki. Plon i jakość ziarna wybranych odmian pszenicy jarej w zależności od dawki i terminu stosowania azotu // *Fragm. Agronom.* – 2011. – N. 28 (4). – S. 7-15.

Поступила в редакцию 28.08.19
Принята к публикации 05.10.19

НАКОПЛЕНИЕ СЫРОГО БЕЛКА ОБРАЗЦАМИ СОИ ОВОЩНОГО ТИПА В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОГО РАЙОНА НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЫ РОССИИ

Д.Р. Шафигуллин^{1,2}, М.С. Гинс^{1,2}, член-корреспондент РАН,
Е.П. Пронина¹, Е.В. Романова², кандидаты сельскохозяйственных наук,
А.В. Солдатенко¹, член-корреспондент РАН

¹Федеральный научный центр овощеводства,
143080, Московская область, Одинцовский район, поселок ВНИИССОК, ул. Селекционная, 14
²Российский университет дружбы народов, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6
E-mail: shafigullin89@yandex.ru

Применение спектрофотометрического метода анализа дало возможность изучить и дать оценку содержанию сырого белка в листьях и семенах важнейшей бобовой культуры – сои овощной, которую используют в функциональном и здоровом питании. Селекционные формы культивировали на опытном поле и в защищенном грунте Федерального научного центра овощеводства в Московской области. Впервые в условиях Центрального района Нечерноземной зоны России (55° с.ш.) за 3 года изучено накопление сырого протеина в семенах сои овощного типа в фазе биологической спелости. Существенных различий между формами сои овощной и масличной направленности по содержанию белка в листьях в фазе технической спелости не отмечено (в среднем у овощных образцов оно составило 8,1%). В фазе технической спелости образцы аккумулировали белок в семенах почти на одном уровне – 25,7-28,4%. По данным трех лет наблюдений, в фазе биологической спелости соя овощного типа накапливала более высокую (на 15,7% в относительных значениях) сумму белков в семенах благодаря наследственным факторам. Наибольшим содержанием сырого протеина в семенах характеризовались селекционные линии Образец А, Hidaka, Cha Kura Kake со средним значением 47,4% (в абсолютных числах). У форм сои овощного типа в изучаемых условиях отмечено значительное накопление сырого протеина в листьях и семенах в обе фазы генеративного развития растений, что может иметь большие перспективы для использования этих образцов в производстве высокобелковых функциональных продуктов питания.

ON THE RAW PROTEIN ACCUMULATION BY SAMPLES OF SOYBEAN VEGETABLE TYPE IN THE CONDITIONS OF THE CENTRAL AREA OF THE NON-BLACK-ZONE

Shafigullin D.R.^{1,2}, Gins M.S.^{1,2}, Pronina E.P.¹, Romanova E.V.², Soldatenko A.V.¹

¹Federal Scientific Vegetable Center,
143080, Moskovskaya oblast, Odintsovskiy rayon, p. VNISSOK, ul. Selektsionnaya, 14
²Peoples' Friendship University of Russia,
117198, Moskva, ul. Miklukho-Maklaya, 6
E-mail: shafigullin89@yandex.ru

The use of the spectrophotometric analysis method made it possible to study and evaluate the content of crude protein in the leaves and seeds of the vegetable soybean, which is used in functional and healthy nutrition. Breeding forms were cultivated in the experimental field and in the greenhouse of the Federal Scientific Vegetable Center in the Moscow Region. For the first time in the conditions of the Central region of the Non-Chernozem Zone, accumulation of crude protein in seeds of soybean of vegetable type in the phase of biological ripeness was studied in 3 years. It was found that there were almost no significant differences in the protein content in the leaves between the vegetable and oilseed breeding forms, averaging 8.1% in the first ones in the phase of R6. The samples possessed protein accumulation at almost the same level - 25.7-28.4% in soybean seeds in R6. It was also found that, according to three years of observation, soybean of vegetable type accumulates a higher - by 15.7% (in relative values) - the amount of protein in the seeds in the phase of biological ripeness, which is explained by hereditary reasons. The lines of Sample A, Hidaka, Cha Kura Kake with an average value of 47.4% (in absolute numbers) excelled in the highest crude protein content in seeds. Vegetable soybean forms grown in the Central Russia (55°N) have shown significant accumulation of crude protein in leaves and seeds in both phases of the generative development of plants; the use of these samples in the production of high-protein functional food products has great prospects.

Ключевые слова: соя овощная, *Glycine max* L., протеин, белок, эдамаме, функциональные продукты

Key words: vegetable soybean, *Glycine max* L., protein, edamame, functional products

Соя – одна из самых высокобелковых культур [1-3]. Ее белок сбалансирован по содержанию незаменимых аминокислот и обладает высокой биологической питательной ценностью. Он может быть использован в виде добавки для улучшения других растительных белков с низкой биологической ценностью, например, запасных белков злаковых растений, а также отдельно в виде пищевых добавок для питания спортсменов, функционального и здорового питания [4-6].

Исследование биохимических процессов созревания семян сои позволяет сделать вывод о том, что запасные белки в бобах *Glycine max* L. образуются из аминокислот и амидов, поступающих из вегетативных органов растений. С наступлением периода генеративного развития растений в них проявляются процессы гидролиза и происходит отток образующихся соединений обмена веществ в плоды. Большое количество

«строительного материала» поступает в созревающие семена из корней [7, 8].

Изучение влияния агроклиматических факторов показало, что в зависимости от погодных условий и региона выращивания уровень содержания белка в семенах сои может изменяться от 10 до 15% [9, 10]. При повышении влажности и снижении температуры воздуха уменьшается и содержание белка [11].

Ценность сои овощного направления в значительной степени зависит от содержания протеина; в семенах овощных сортов оно выше, чем у масличных, на 10-15% в зависимости от сортовых особенностей [12, 13]. Семена сои овощной в фазе технической спелости (R6) содержат 30-38% белка (на сухую массу) [14, 15].

Цель настоящей работы – изучение накопления сырого белка в листьях и семенах сои овощного типа в условиях Центрального района Нечерноземной зоны

России для выделения наиболее высокобелковых образцов в селекционных программах.

Методика. Объектом исследований были 10 образцов *Glycine max* L., два из которых – масличные, два – универсальные, шесть – овощные. Изучение селекционного материала сои проводили в лаборатории физиологии и биохимии Федерального научного центра овощеводства (ФНЦО) в течение 2016–2018 гг. Большая часть коллекционного материала была предоставлена Федеральным исследовательским центром Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, также использовали селекционный материал из коллекции ФНЦО (табл. 1).

Табл. 1. Происхождение образцов сои и направление использования

№ п/п	Образец	Происхождение	Направление
1	Окская (стандарт)	Россия	Зерновое (масличное)
2	Соер 5	Россия	Зерновое (масличное)
3	Gokuwase Hayabusa Edamame	Япония	Овощное
4	Образец А	Япония	Овощное
5	Нордик	Россия	Универсальное
6	Hidaka	Япония	Овощное
7	740-1	Швеция	Овощное
8	Fiskeby III	Швеция	Овощное
9	Tundra	Канада	Универсальное
10	Cha Kura Kake	Япония	Овощное

Овощные формы определены согласно сформированной модели сортогрупп: по морфологическим и хозяйственным признакам, биологическим особенностям, биохимическим параметрам [16, 17]. К универсальным отнесены формы, проявлявшие признаки, присущие как овощным, так и масличным сортам, к зерновым – сорта масличного направления. Стандартом был выбран сорт Окская (селекции Рязанского научно-исследовательского и проектно-технологического института АПК), зарегистрированный в Государственном реестре, в том числе для Центрального региона России.

Образцы высевали вручную в открытом грунте в третьей декаде мая в 2016 и 2018 гг., в 2017 г. – в первой декаде июля в защищенном грунте (теплице) в три ряда длиной 1,5 м (густота стояния – 40 шт./м²).

Содержание белка определяли по Бредфорду [18], белок экстрагировали буферным раствором (рН 12,0), калибровку осуществляли по бычьему сывороточному альбумину (99%) фирмы «Диаэм» (Россия).

Статистическая обработка данных проведена методом дисперсионного анализа с помощью программы Microsoft Office Excel (2010). Анализ изменчивости признаков определяли по следующим показателям:

средняя арифметическая: $\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$, где x_i – значение признака повторности, n – число всех повторностей;

ошибка выборки: $S_x = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$, где σ – среднее квадратическое отклонение; коэффициент вариации: $V_\sigma = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100\%$.

Результаты и обсуждение. Анализ синтеза белка в вегетативных органах растений в фазе технической спелости показал отсутствие существенных различий между формами овощной и масличной направленности сои: содержание у первых было чуть ниже – на 6,5% (в относительных значениях), или на 0,51% (в абсолютных). Максимальное накопление белка в листьях овощных форм сои отмечено у линии Tundra – больше на 38,3% в относительных значениях, чем в среднем по группе. В фазе биологической спелости у этого образца содержание белка в семенах оказалось самым низким. Селекционные формы 740-1 и Fiskeby III обладали наименьшей суммой протеина в вегетативных частях растений в сравнении с остальными (на 36,4% ниже в относительных значениях). Несмотря на пониженное содержание белка в листьях, у этих образцов его аккумуляция в семенах в фазе биологической спелости была в среднем диапазоне (рис. 1, 2).

Для исследования кинетики накопления запасных протеинов – главного биохимического компонента сои, наряду с аккумуляцией в листьях, анализировали их содержание в семенах в процессе генеративного развития растений как в фазе технической (R6), так и биологической спелости. В фазе R6 по содержанию белка выделился раннеспелый образец Gokuwase Hayabusa Edamame, на 46,2% превосходивший другие образцы (в относительных значениях), что объяснимо генетически более ранним наступлением синтеза белковых веществ. Также стоит выделить масличные сорта Окская, Соер 5 и овощную форму 740-1 с содержанием белка на 11,8% выше (в относительных значениях), чем в среднем по опыту. Остальные образцы обладали почти одинаковым уровнем накопления белка в фазе технической спелости (значения варьировали от 25,7 до 28,4%).

Во время перехода растений с фазы технической спелости в биологическую по вариантам наблюдали разное повышение содержания белка в семенах (на сухое вещество). У образца Gokuwase Hayabusa Edamame

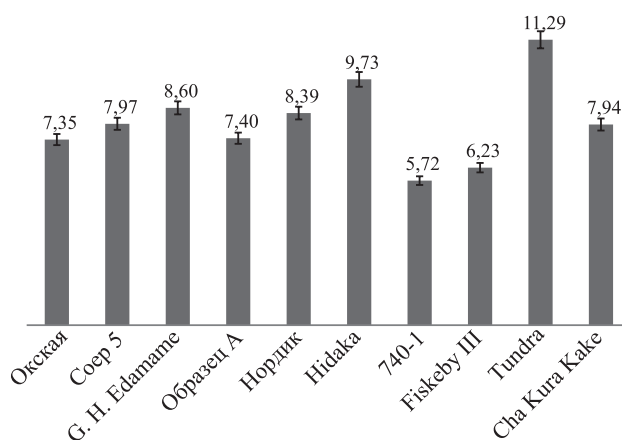


Рис. 1. Содержание (% на сухую массу) сырого белка в листьях сои в фазе технической спелости образцов, 2018 г.

Табл. 2. Содержание и выход сырого белка в обезжиренных семенах образцов сои в фазе биологической спелости

№ п/п	Образец	Содержание сырого белка, %				V _σ , %	Выход сырого белка, г/растение		
		2016 г.	2017 г.	2018 г.	в среднем за 3 года		2016 г.	2018 г.	в среднем за 2 года
1	Окская	33,5±1,0	46,5±1,4	35,3±1,1	38,5±4,1	18,4	4,8±0,1	3,1±0,1	4,0±0,9
2	Соер 5	35,0±1,1	45,9±1,4	35,9±1,1	38,9±3,5	15,5	4,6±0,1	5,7±0,2	5,2±0,5
3	Gokuwase Hayabusa Edamame	40,9±1,2	51,7±1,6	45,1±1,4	45,9±3,2	11,9	11,4±0,3	3,8±0,1	7,6±3,8
4	Образец А	44,7±1,3	54,7±1,6	45,5±1,4	48,3±3,2	11,5	7,2±0,2	5,2±0,2	6,2±1,0
5	Нордик	41,1±1,2	45,6±1,4	42,3±1,3	43,0±1,4	5,5	12,0±0,4	5,8±0,2	8,9±3,1
6	Hidaka	46,1±1,4	49,9±1,5	44,0±1,3	46,7±1,7	6,4	5,3±0,2	7,0±0,2	6,1±0,8
7	740-1	40,9±1,2	49,7±1,5	40,2±1,2	43,6±3,1	12,1	10,2±0,3	5,8±0,2	8,0±2,2
8	Fiskeby III	42,9±1,3	49,9±1,5	38,2±1,1	43,7±3,4	13,4	10,9±0,3	3,8±0,1	7,3±3,5
9	Tundra	37,2±1,1	46,6±1,4	35,6±1,1	39,8±3,4	15,0	5,5±0,2	4,9±0,1	5,2±0,3
10	Cha Kura Kake	41,5±1,2	57,3±1,7	42,9±1,3	47,2±5,0	18,5	12,4±0,4	3,8±0,1	8,1±4,3
	HCP ₀₅	4,0	3,9	4,0	3,5				

увеличение было минимальным и составило 9,4% (в относительных значениях), поскольку наследственно обусловленный уровень накопления белка почти достигался в фазе технической спелости. У масличных сортов повышение содержания белка также было сравнительно небольшим – 18,6% (в относительных значениях). Значительный рост белковости семян в онтогенезе (более чем наполовину) отмечен у следующих образцов: Нордик, Hidaka, Fiskeby III, Cha Kura Kake, что свидетельствует об интенсивном синтезе протеина в семенах в течение всего периода созревания (до полного наступления биологической спелости). В фазе биологической спелости овощные формы превосходили масличные по уровню белковости (рис.2).

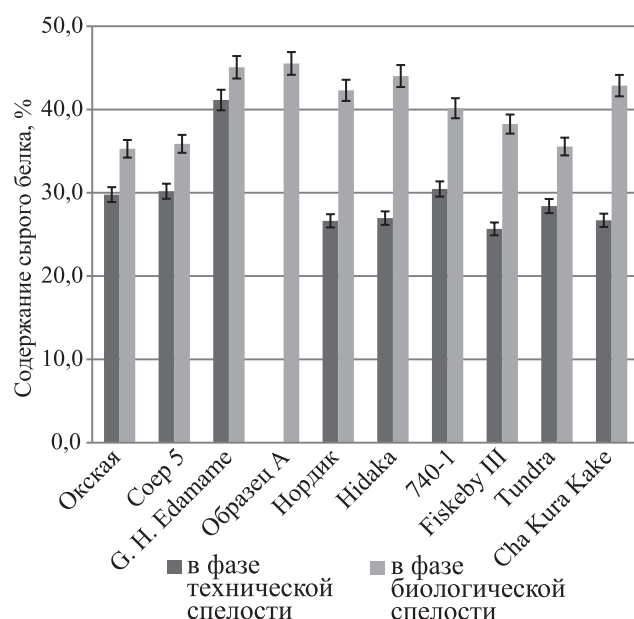


Рис. 2. Содержание (% на сухую массу) сырого белка в обезжиренных семенах сои в технической и биологической спелости, 2018 г.

В 2017 г. по сравнению с 2016 и 2018 гг. все образцы обладали в среднем более высоким содержанием сырого белка в семенах (на 23,0% в относительных значениях), поскольку их выращивали в условиях защищенного грунта с повышенной температурой воздуха. В полевых условиях 2016 и 2018 гг. содержание протеина почти не изменилось и составило 40,3 и 40,5% соответственно.

В среднем за 3 года у овощных образцов накопление белка в семенах было выше, чем у масличных, на 15,7% (в относительных значениях). Это объясняется наследственными факторами: в течение продолжительного периода селекции отбор вели на повышенную белковость, что может быть особенностью овощных линий.

Выделены следующие образцы со стабильно высоким уровнем аккумуляции белковых соединений: Образец А, Hidaka, Cha Kura Kake (их медианное значение составило 47,4% в абсолютных значениях), что больше на 5,8% (в относительных), чем у других образцов овощной группы. Коэффициент вариации был невысоким, что позволяет говорить о детерминированном накоплении белка в семенах сои в большей степени генетическими факторами. Данный показатель можно применять в селекционной практике как биохимический маркерный признак.

При расчете выхода сырого белка с растения (семян) масличные сорта, несмотря на продуктивность, выделились самым низким его сбором со средневзвешенным значением 4,6 г/растение. Наиболее высокий выход белка с растения отмечен у образцов Нордик, овощных форм 740-1 и Cha Kura Kake (8,3 г); при этом первый – мелкосемянный, вошедший в группу с максимальным выходом протеина за счет повышенной продуктивности. В 2016 г. наблюдали значительное отклонение сбора белка в сторону увеличения у овощных образцов Gokuwase Hayabusa Edamame, 740-1, Fiskeby III, Cha Kura Kake, а также у формы Нордик, что связано с более высокой урожайностью семян по сравнению с 2018 г. (табл.2).

Таким образом, овощные образцы сои интенсивно накапливают протеин в семенах, белковость которых в

фазе технической и биологической спелости достигает в среднем соответственно 29,4 и 45,9% (на обезжиренную массу), что выше, чем у масличных сортов в фазе биологической спелости, на 15,7% (в относительных значениях). Содержание белка в семенах в условиях 55° с.ш. служит основным биохимическим показателем овощных сортов сои.

Литература:

1. Muijoo R., Trinh D.T., Ng P.K.W. Characterization of storage proteins in different soybean varieties and their relationship to tofu yield and texture // *Food chemistry*. – 2003. – Т. 82. – № 2. – С. 265-273.
2. Зотиков В.И., Бобков С.В., Варлахова Л.Н. Характеристика сортов зернобобовых и крупяных культур селекции ВНИИЗБК по качеству зерна // *Достижения науки и техники АПК*. – 2010. – № 11. – С. 17-19.
3. Johnson D., Wang S., Suzuki A. Edamame: A vegetable soybean for Colorado // *Energy (Kcal)*. – 2000. – Т. 582. – С. 573.
4. Konovsky J., Lumpkin T.A., McClary D. Edamame: the vegetable soybean // *Understanding the Japanese food and agrimarket: a multifaceted opportunity*. – 1994. – Т. 1988. – С. 173-181.
5. Friedman M., Brandon D. L. Nutritional and health benefits of soy proteins // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2001. – Vol. 49. – № 3. – P. 1069-1086.
6. Xu S., Liu N., Mao W., Hu Q., Wang G., Gong Y. . Identification of chilling-responsive microRNAs and their targets in vegetable soybean (*Glycine max* L.) // *Scientific reports*. – 2016. – Т. 6. – С. 26619.
7. Egli D.B., Bruening W.P. Accumulation of nitrogen and dry matter by soybean seeds with genetic differences in protein concentration // *Crop science*. – 2007. – Vol. 47. – № 1. – P. 359-366.
8. Yu X., Yuan F., Fu X., Zhu D. Profiling and relationship of water-soluble sugar and protein compositions in soybean seeds // *Food chemistry*. – 2016. – Т. 196. – С. 776-782.
9. Vollmann J., Fritz C. N., Wagentristsl H., Ruckebauer P. Environmental and genetic variation of soybean seed protein content under Central European growing conditions // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. – 2000. – Т. 80. – № 9. – С. 1300-1306.
10. Singh G. (ed.). *The soybean: botany, production and uses*. – CABI, 2010. – 494 с.
11. Wolf R.B., Cavins J.F., Kleiman R., Black L.T. Effect of temperature on soybean seed constituents: oil, protein, moisture, fatty acids, amino acids and sugars // *Journal of the American Oil Chemists' Society*. – 1982. – Т. 59. – № 5. – С. 230-232.
12. Jiang-bin C.A.I. M.L.I., Meng-ting L.I.N. J.C., Yu-chao L. I. U. Y. L. I. Determination and Nutritional Value Evaluation of Protein and Vitamin C in Edamame, Soybeans and Bean Sprouts // *Modern Agricultural Science and Technology*. – 2013. – Vol. 14. – P. 180.
13. Lumpkin T.A., Konovsley J. The vegetable soybean // *Taller Regional Centroamericano Consultas sobre Planificación de Investigación Hortícola*. – 1992. – P. 297.
14. Johnson D., Wang S., Suzuki A. Edamame: A vegetable soybean for Colorado // *Energy (Kcal)*. – 2000. – Vol. 582. – P. 573.
15. Zarkadas C. G., Gagnon C., Gleddie S., Khanizadeh S., Cober E.R., Guillemette R.J. Assessment of the protein quality of fourteen soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] cultivars using amino acid analysis and two-dimensional electrophoresis // *Food Research International*. – 2007. – Т. 40. – № 1. – С. 129-146.
16. Shafigullin D.R., Gins M.S., Pivovarov V.F., Soldatenko A.V. Study of soybean vegetable samples in the conditions of the Central European part of Russia and modeling of new variety biotypes // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. – 2018. – № 4. – P. 73-98.
17. Шафигуллин Д.Р., Пивоваров В.Ф., Гинс М.С. Особенности вариаций признаков скороспелости у овощных и зерновых форм сои // *Российская сельскохозяйственная наука*. – 2017. – № 5. – С. 18-23.
18. Bradford M.M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding // *Analytical biochemistry*. – 1976. – Vol. 72. – № 1-2. – P. 248-254.

Поступила в редакцию 20.11.19

После доработки 05.01.20

Принята к публикации 15.01.20

ДИНАМИКА ИНТЕНСИВНОСТИ ФОТОСИНТЕЗА *Juniperus excelsa* M. Bieb И ФАКТОРОВ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ В ХОДЕ ВЕГЕТАЦИИ ВИДА В УСЛОВИЯХ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА

О.А. Ильницкий, доктор биологических наук, Ю.В. Плугатарь, член-корреспондент РАН,
А.В. Паштетский, кандидат экономических наук

Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН,
298648, Республика Крым, Ялта
E-mail: ilnitsky.oleg@mail.ru

Целью работы было изучение зависимостей интенсивности фотосинтеза, транспирации и температуры хвои *Juniperus excelsa* M. Bieb от основных факторов внешней среды и определение оптимальных и ограничивающих условий произрастания данного вида на Южном берегу Крыма. Подобные исследования в этих условиях еще не проводили, что позволит применять полученные результаты для интродукции вида и в другие регионы. Изучена динамика таких зависимостей в ходе вегетации культуры в мае-сентябре. Определены коэффициенты нелинейных регрессионных уравнений взаимосвязей этих параметров. Вид обладает высоким потенциалом фотосинтеза для акклиматизации к повышенной температуре. Показано, что повышение температуры листа (хвои) выше оптимальной (критическая температура – 38 °C) приводит к резкому снижению интенсивности фотосинтеза. За период вегетации растения изменялись факторы внешней среды и эколого-физиологические характеристики вида: интенсивность нетто-фотосинтеза снизилась на 28,58%, транспирация – на 50%, температура хвои – на 6,67%. Температурно-световые оптимумы изучаемых параметров также уменьшились: температура и дефицит влажности воздуха – соответственно на 10,72 и 60%, освещенность – на 15,4%. Результаты исследований позволяют сравнить полученные эколого-физиологические характеристики с климатическими условиями конкретной зоны и оценить возможности выращивания *Juniperus excelsa* M. Bieb в других регионах.

DYNAMICS OF THE INTENSITY OF PHOTOSYNTHESIS *Juniperus excelsa* M. Bieb AND OF ENVIRONMENTAL FACTORS DURING THE GROWTH SEASON OF THIS SPECIES IN THE CONDITIONS OF THE SOUTHERN COAST OF CRIMEA

Ilnitsky O.A., Plugatar Yu.V., Pashtetsky A.V.

Nikita Botanical Gardens – National Scientific Center RAS,
298648, the Republic of Crimea, Yalta
E-mail: ilnitsky.oleg@mail.ru

The aim of the work was to study the dependencies of the intensity of photosynthesis, transpiration and temperature of *Juniperus excelsa* M. Bieb from the main factors of the external environment and to determine the optimal and limiting conditions of the growth of this species in the conditions of the southern coast of Crimea. Similar studies have not yet been carried out in the region, which will allow the results to be applied to the introduction of the species to other regions. The dynamics of these dependencies during the growing of the species in the conditions of the southern coast of Crimea (May-September months) have been studied. The display of photosynthesis response function to environmental factors allowed *Juniperus excelsa* M. Bieb to obtain numerical coefficients of nonlinear regression equations of these parameters. *Juniperus excelsa* M. Bieb has a high potential of photosynthesis to acclimatize to elevated temperatures. Increase leaf temperature (needles) above optimal resulted in a dramatic reduction in the intensity of photosynthesis-critical temperature is 38 °C. During the studied period of vegetation plants occurred factors change Wednesday and ecological and physiological characteristics of the species: the intensity of net photosynthesis declined by 28.58%, transpiration-50%, temperature needles-6.67%. Temperature Optima also studied light diminished: temperature and humidity deficit at 10.72%, 60%, respectively, illumination-15.4%. When introductions of this species in different regions, studies to compare the ecological and physiological characteristics of climatic conditions in a given region and assess the capabilities of its cultivation.

Ключевые слова: *Juniperus excelsa* M. Bieb, интенсивность видимого фотосинтеза, температурно-световые оптимумы, эколого-физиологическая характеристика

Key words: *Juniperus excelsa* M. Bieb, the intensity of the visible light, temperature-photosynthesis Optima, ecological and physiological characteristics

В условиях усиления аридизации территории Южного берега Крыма и в связи с глобальным изменением климата [1-5] исследование эколого-физиологических особенностей редких и охраняемых видов – необходимая основа для их сохранения, разработки экологически обоснованной системы охраны и поддержания биоэкологического потенциала. К таким ценным видам относится Можжевельник высокий (*Juniperus excelsa* M. Bieb.). Известны исследования особенностей его произрастания в условиях региона [6, 3]. Так, в работе [3] дан анализ структуры фитоценозов формации этого вида в Горном Крыму, в [6] представлены основные закономерности формирования насаждений можжевельника в заповеднике «Мыс Мартыан» и прогноз их дальнейшего развития.

Можжевельник *Juniperus excelsa* M. Bieb. в последнее время стал одним из распространенных видов в лесах и горах Турции. Его выращиванию посвящено много исследований [7-11]. Определены оптимальные

варианты водного режима и питательных веществ при выращивании рассады в средиземноморских условиях, а также экологические признаки для моделирования динамики леса. Представители рода *Juniperus excelsa* L. были интродуцированы в Ботаническом саду Адыгейского государственного университета [4]. Изучены физиологические особенности интродуцированных культиваров рода *Juniperus*, связанные с сезонными изменениями показателей водного обмена.

Целью настоящей работы было исследование зависимостей интенсивности фотосинтеза, транспирации и температуры хвои *Juniperus excelsa* M. Bieb от основных факторов внешней среды в процессе активного роста растения (июнь-октябрь), что позволяет определить оптимальные и ограничивающие условия произрастания данного вида в условиях Южного берега Крыма [12, 13].

Методика. Можжевельник высокий (*Juniperus excelsa* M. Bieb.) из рода Можжевельник (*Juniperus*) семейства Кипарисовые (*Cupressaceae*) – гемиксеро-

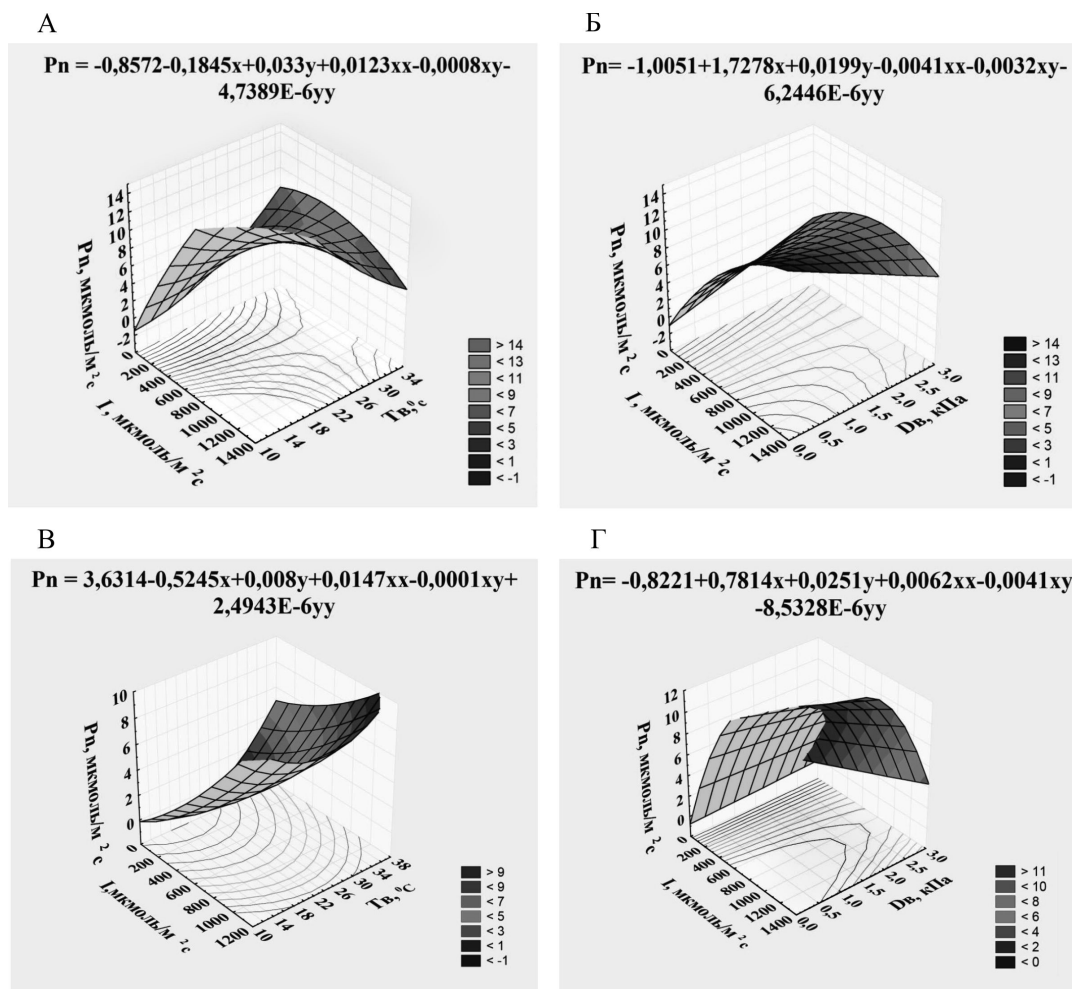


Рис. 1. Поверхность квадратичной функции $P_n = f(I, T_v)$ – А (май-июнь), В – (сентябрь-октябрь) и $P_n = f(I, D_v)$ – Б (май-июнь), Г (сентябрь-октябрь) и контуры срезов на плоскости $T_v - I$, $D_v - I$; сверху графика показаны численные коэффициенты нелинейных регрессионных уравнений этих зависимостей.

фильный реликтовый вид. В восточном Средиземноморье растет в северо-восточной части Греции и южной Болгарии, Турции, Сирии, Ливане и дальше в горах Кавказа, в Крыму – от мыса Айя до Карадага, а также в Байдарской долине. Подвид *J. excelsa* subsp. *Polycarpus* встречается в горах восточной части Пакистана (некоторые ученые рассматривают его как отдельный вид). Он произрастает в нижних горных поясах до высоты 4000 м над уровнем моря на солнечных сухих склонах, особенно на кальцитных почвах и представляет собой вечнозеленое хвойное дерево или кустарник высотой 10-15 м. Крона густая, конусообразная, округлой или пирамидальной формы, корневая система поверхностная. На концах побегов хвоя игольчатая, раскидистая, длинная. Растение однодомное, размножается семенами [2]; шишкоягоды шаровидной формы диаметром 0,8-1,2 см, расположены на коротких ножках темно-сиренево-фиолетового цвета с сизовато-белым густым налетом, зреют на второй год после опыления. Количество чешуек – 4-6, по 6 семян в каждой. Репродуктивный цикл (от заложения шишек до созревания семян) в Крыму составляет 27 мес. Пыление проходит с середины января до апреля. Исследования проводили в условиях теплицы на территории центрального отделения Никитского ботанического сада. Растения – саженцы 3-4 лет, выращенные из черенков. Время проведения

опытов – май-июнь и сентябрь-октябрь 2017–2018 гг.

Для регистрации газообмена интактных листьев, водного режима и роста растений использовали монитор фотосинтеза RTM-48A и фитомонитор PM-11z [14]. Монитор RTM-48A оснащен четырьмя листовыми камерами. Для измерения устьичной проводимости листа дополнительно установлен в листовой камере датчик температуры. Скорость фотосинтеза определяли на молодых неповрежденных листьях (хвое) в верхней части побега каждые 15-20 мин. Концентрация CO_2 в воздухе достигала около 0,04%. Интенсивность нето-фотосинтеза (P_n , $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{c}$) и транспирацию (E , $\text{mg}/\text{m}^2\cdot\text{c}$) измеряли при фотосинтетическом активном излучении 0-2000 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{c}$, параметры окружающей среды: температуру и влажность воздуха – датчиками метеомодуля RTN-48, подключенными к цифровому входу системы RTM-48A, температуру хвои – датчиком LT-1P, подключенным к аналоговому входу RTM-48A.

Статистическая обработка данных выполнена с использованием прикладных компьютерных программ Statistica 10 (“Statsoft Inc.”, США) и Microsoft Excel 2010. Для моделирования и сглаживания двумерных данных использованы методы наименьших квадратов и робастной локально-взвешенной регрессии (Statistica 10). Все расчеты осуществляли при заданном уровне значимости $P \leq 0,05$.

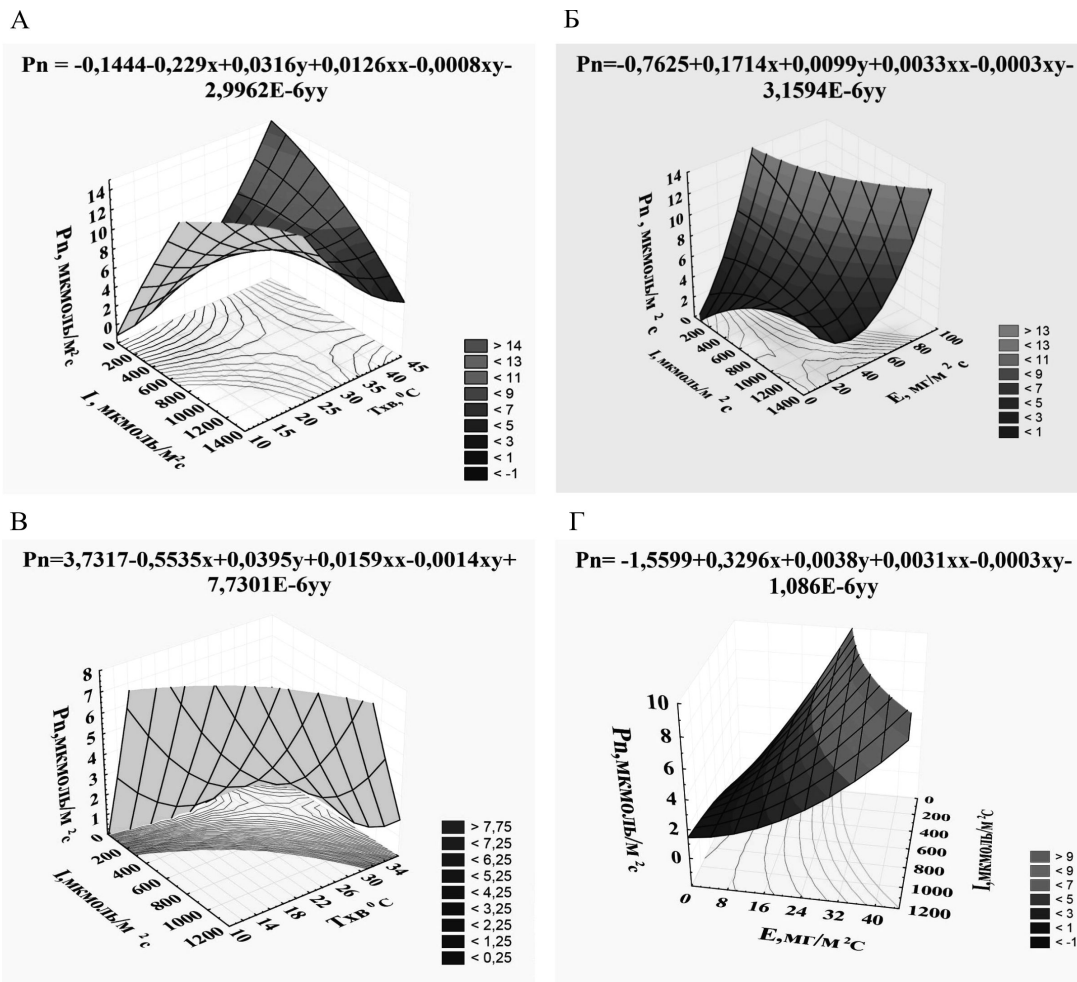


Рис. 2. Поверхность квадратичной функции $P_n = f(I, T_{хв})$ – А (май–июнь) и В – (сентябрь–октябрь), а также $P_n = f(I, E)$ – Б (май–июнь), Г – (сентябрь–октябрь) и контуры срезов на плоскости $T_{хв}$ – I, E – I; сверху графика показаны численные коэффициенты нелинейных регрессионных уравнений этих зависимостей.

Результаты и обсуждение. Серия опытов в тепличных условиях позволила определить оптимальные и ограничивающие условия произрастания изучаемого вида в регионе. Известно, что соотношение между нетто-фотосинтезом и ростом листа разных видов растений зависит от жизненной формы растения. Максимум фотосинтеза у вечнозеленых лиственных и хвойных видов наступает чаще всего после полного формирования листа по площади и биомассе [15]. Интенсивность газообмена является функцией отклика на воздействие изучаемых факторов окружающей среды, что позволяет получить величину фотосинтеза, которая соответствует сочетанию определенных факторов условий среды. В «зону оптимума» попадают точки со значением интенсивности фотосинтеза более 90% от $P_n \text{ max}$. Это дает возможность определить оптимальные и ограничивающие условия максимумов и границы областей оптимумов нетто-фотосинтеза, а также численные коэффициенты нелинейных регрессионных уравнений таких зависимостей.

На рис. 1 представлены поверхность квадратичной функции зависимости нетто-фотосинтеза (P_n) от интенсивности солнечной радиации (I), температуры хвои ($T_{хв}$) и дефицита влажности воздуха (D_v) – $P_n = f(I, T_{хв}, D_v)$, а также контуры проекций срезов на плоскости. В мае-июне (рис. 1А) для $P_n = f(I, T_{хв})$ оптимум P_n составлял

12-14 мкмоль/(м²с) при $T_{хв} = 22-28$ °С, $I = 600-1300$ мкмоль/(м²с), в сентябре-октябре (рис. 1 В) – 8-10 мкмоль/(м²с) соответственно при 17-25 °С, 500-1100 мкмоль/(м²с). Оптимум $P_n = f(I, D_v)$ в мае-июне (рис. 1.Б) составлял 12-14 мкмоль/(м²с) при $D_v = 0,5-2$ кПа, $I = 600-1300$ мкмоль/(м²с), в сентябре-октябре (рис. 1 Г) – 8-10 мкмоль/(м²с) соответственно при 0,3-1,2 кПа, 500-1100 мкмоль/(м²с).

На рис. 2 показаны поверхность квадратичной функции зависимости P_n от освещенности (I), температуры хвои ($T_{хв}$) и транспирации (E): ($P_n = f(I, T_{хв}, E)$) и контуры срезов на плоскости. В мае-июне (рис. 2 А) для $P_n = f(I, T_{хв})$ оптимум P_n составлял 12-14 мкмоль/(м²с) при $T_{хв} = 25-30$ °С, $I = 600-1300$ мкмоль/(м²с), в сентябре-октябре (рис. 2 В) – 8-10 мкмоль/(м²с) соответственно при 22-28 °С, 500-1100 мкмоль/(м²с). На рис. 2 Б показана поверхность квадратичной функции зависимости P_n от освещенности и транспирации $P_n = f(I, E)$. В мае-июне при $E = 50-90$ мг/(м²с), $I = 600-1300$ мкмоль/(м²с) P_n составляла 12-14 мкмоль/(м²с), в сентябре-октябре (рис. 2 Г) – 10-12 мкмоль/(м²с) соответственно при 25-45 мг/(м²с), 500-1100 мкмоль/(м²с).

По данным наших исследований (рис. 1, 2), при изменении фаз вегетации изучаемого вида с мая-июня по сентябрь-октябрь изменяются погодные условия, интенсивность фотосинтеза и температурно-световые оп-

Динамика изменения оптимумов нетто-фотосинтеза, транспирации, температуры листа и факторов внешней среды в течение вегетации

Показатель	Время измерения	
	май-июнь	сентябрь-октябрь
Тв, °С	22-28	17-25
Дв, кПа	0,5-2	0,3-1,2
I, мкмоль/(м ² с)	600-1300	500-1100
Тхв, °С	25-30	22-28
Ехв, мг/(м ² с)	50-90	25-45
Pn, мкмоль/(м ² с)	12-14	8-10

тимумы, наблюдается старение хвои, что подтверждается литературными источниками [16-18].

Проведен регрессионный анализ взаимосвязей между измеряемыми параметрами $Pn=f(T_{хв})$ и $E=f(T_{хв})$. Выявлена примерно одинаковая корреляционная связь между Pn и $T_{хв}$: $R=0,8741$, $R^2=0,7642$; E и $T_{хв}$: $R=0,82007$, $R^2=0,6562$.

В таблице приведена динамика изменения оптимумов Pn , температуры листа, транспирации и факторов внешней среды в течение вегетации (с мая-июня по сентябрь-октябрь).

Растения способны активизировать или замедлять диффузию молекул CO_2 и испарение воды, обеспечивая защиту от перегрева и необходимые условия для фотосинтеза, а в результате – определенный гомеостаз продукционного процесса [19].

За период вегетации растений оптимальное значение Pn уменьшилось на 28,58%, интенсивность транспирации – на 50%, температура хвои ($T_{хв}$) – на 6,67%, температура воздуха (T_v) – на 10,72%, дефицит влажности воздуха (D_v) – на 60%, освещенность – на 15,4%.

Реакция интенсивности фотосинтеза на факторы внешней среды позволила для *Juniperus excelsa* M. Bieb. получить численные коэффициенты нелинейных регрессионных уравнений взаимосвязей этих параметров. Полученные данные позволяют интерпретировать скорость фотосинтеза как потенциальную экологическую и физиологическую характеристику этого вида можжевельника.

Для *Juniperus excelsa* M. Bieb. (рис. 2 А) перегрев хвои выше 38 °С приводит к ингибированию ферментативной активности и снижению интенсивности фотосинтеза – это значение является критическим для данного вида [4, 20].

Результаты исследований позволяют сопоставлять полученные эколого-физиологические характеристики с климатическими условиями конкретного региона и оценить возможности выращивания там *Juniperus excelsa* M. Bieb.

Литература

1. Анненков А.А., Иванов В.Ф., Хохрин А.В., Акимов Ю.А. Методические рекомендации по изыскательским работам для проектирования объектов озеленения в Крыму. – Ялта, 1984. – 26 с.
2. Красная книга Республики Крым. Растения, водоросли,

грибы /Отв. ред. Ена А.В., Фатерыга А.В. – Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2015. – 480 с.

3. Ларина Т.Г. О структуре фитоценозов формации *Junipereta excelsae* в Горном Крыму // Экология. – 1980. – № 4. – С. 38–44.
4. Чернявская И.В., Толстикова Т.Н., Едич Е.М. Представители рода *Juniperus Excelsa* L в Ботаническом саду Адыгейского государственного университета. – Научный журнал «Вестник АГУ», – 2015. – Вып. 4 (171). – С. 79–86.
5. Giorgi F., Lionello P. Climate change projections for the Mediterranean region // Glob Planet Change. – 2008. – 63. – P.90–104. doi:10.1016/j.gloplacha.2007.09.005.
6. Григоров А.Н. Естественное возобновление и возрастная структура насаждений можжевельника высокого в заповеднике «Мыс Мартыан» // Труды Никитского ботанического сада. – 1980. – Т. 81. – С. 35–44.
7. Gülcü, S., Gültekin H.C., Çelik S., Eser Y., Gürlevik N. The effects of different pot length and growing media on seedling quality of Crimean juniper (*Juniperus excelsa* Bieb.) // African Journal of Biotechnology. – 2010. – Vol. 9 (14). – P. 2101–2107.
8. Gürlevik N., Deligöz A., Yıldız D. Effects of irrigation and fertilization on the growth of juniper seedlings Der Einfluss von Bewässerung und Düngung auf das Wachstum von Wacholdersämlingen // Austrian Journal of Forest Science Centralblatt für das gesamte Forstwesen. – 2014. – Heft 3. – S. 171–190 /
9. Kint V., Aertsen W., Fyllas N.M., Trabucco A., Janssen E., Özkan K., Muys B. Ecological traits of Mediterranean tree species as a basis for modelling forest dynamics in the Taurus mountains // Ecological Modelling. – 2014. – V. 286. – P. 53–65.
10. Meletiou-Christou M.S., Rhizopoulou S. Leaf functional traits of four evergreen species growing in Mediterranean environmental conditions // Acta Physiol. Plant. – 2017. – V. 39. – N1. – P. 34–46. DOI: 10.1007/s11738-016-2330-4.
11. Özkan K., Gulsoy S., Aerts R., Muys B. Site properties for Crimean juniper (*Juniperus excelsa*) in semi-natural forests of south western Anatolia // J. Environ. Biol. – 2010. – V. 31. – P. 97–100.
12. Дроздов С.Н., Курец В.К. Некоторые аспекты экологической физиологии растений – Петрозаводск: ПетрГУ, 2003. – 172 с.
13. Кайбейнен Э.Л., Пелконен П. Оптимизация фотосинтеза и транспирации у неотделенных листьев ивы на плантациях быстрого возобновления // Физиология растений. – 2007. – Т. 54. – С. 350–355.
14. Ильницкий О.А., Плугатарь Ю.В., Корсакова С.П. Методология, приборная база и практика проведения фитомониторинга. – Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2018. – 233 с.
15. Кайбейнен Э.Л. Параметры световой кривой фотосинтеза у *Salix dasyclados* и их изменение в ходе вегетации // Физиология растений. – 2009. – 56(4). – С. 490–499.
16. Larcher W. Physiological Plant Ecology: Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups. – Heidelberg: Springer-Verlag, 2003. – 506 p.
17. Дроздов С.Н., Попов Э.Г., Курец В.К. Влияние света и температуры на нетто-фотосинтез и дыхание *Betula pendula* var. *pendula* и *Betula pendula* var. *carelica* (Betulaceae) // Ботанический журнал. – 1995. – Т. 80. – № 3. – С. 60–64.
18. Jones H.G., Archer N., Rotenberg E., Casa R. Radiation measurement for plant ecophysiology // Journal of Experimental Botany. – 2003. – 54(384). – P. 879–889. doi: 10.1093/jxb/erg116
19. Генкель П.А. Физиология жаро- и засухоустойчивости растений. – М.: Наука, 1982. – 280 с.
20. Medrano H., J.M. Escalona J.M., Bota J., Gulias J., Flexas J. Regulation of Photosynthesis of C3 Plants in Response to Progressive Drought: Stomatal Conductance as a Reference Parameter. // Annals of Botany. – 2002. – V. 89. – P. 895–905.

Поступила в редакцию 05.11.19

После доработки 10.12.19

Принята к публикации 17.12.19

Защита растений

УДК 633.854.54:631.531.172:577.114

DOI:10.31857/S2500-2627-2020-2-21-12

ФУНГИЦИДНАЯ АКТИВНОСТЬ СЛИЗЕОБРАЗУЮЩИХ ПОЛИСАХАРИДОВ ЛЬНА ОБЫКНОВЕННОГО *Linum usitatissimum* L.

В.М. Лукомец, академик РАН, С.В. Зеленцов, член-корреспондент РАН,
Г.М. Саенко, Е.В. Мошненко, В.С. Зеленцов, кандидаты биологических наук

Федеральный научный центр Всероссийский научно-исследовательский
институт масличных культур имени В.С. Пустовойта,
350038, Краснодар, ул. Филатова, 17
E-mail: soya@vniimk.ru

Семена целого ряда видов цветковых растений при увлажнении быстро ослизняются, что указывает на определенные адаптивные преимущества этого признака в условиях естественного отбора. Семенные слизи могут вступать в различные реакции с почвенной, в том числе патогенной микофлорой. Целью исследований было установление фунгицидной активности семенных слизей льна в отношении почвенных грибных патогенов. Объектами исследований были семена льна обыкновенного *Linum usitatissimum* и патогенный почвенный гриб *Fusarium oxysporum*. Наблюдения показали, что уже через 2-3 ч после увлажнения семян льна в чашках Петри с мицелием *F. oxysporum* образовавшиеся слизи начинают угнетать гифы гриба. Через сутки вокруг ослизненных семян образовывались стерильные зоны диаметром $9,46 \pm 0,34$ мм. Установлено, что вытяжка льняных слизей также обладает фунгицидными свойствами. Средняя зона лизиса при точечном нанесении на мицелий гриба *F. oxysporum* семенных слизей льна объемом 0,05 мл составляла $9,65 \pm 0,22$ мм. Выявлена ранее неописанная фунгицидная активность полисахаридных слизей семян льна в отношении гриба *F. oxysporum*, которая может быть использована при селекции сортов льна обыкновенного как новый признак естественной фунгицидной защиты прорастающих семян.

FUNGICIDAL ACTIVITY OF MUCILAGE DEVELOPMENT POLYSACCHARIDES OF COMMON FLAX *Linum usitatissimum* L.

Lukomets V.M., Zelentsov S.V., Saenko G.M.,
Moshnenko E.V., Zelentsov V.S.

Federal scientific center Pustovoi All-Russian Research Institute of Oil Crops,
1350038, Krasnodar, ul. Filatova, 17
E-mail: soya@vniimk.ru

Seeds of a number of flowering plants species, when moistened, quickly mucilage, which indicates certain adaptive advantages of this trait in conditions of natural selection. Seminal mucus can enter into various reactions with soil, including pathogenic mycoflora. The aim of the investigation was to establish the response of fungicidal activity of seminal mucus in relation to soil fungal pathogens. The objects of study were the seeds of common flax *Linum usitatissimum*, and pathogenic soil fungus *Fusarium oxysporum*. Observations showed that already 2-3 hours after moistening flax seeds in Petri dishes with *F. oxysporum* mycelium, the formed mucus begins to inhibit fungal hyphae. After a day, sterile zones with a diameter of 9.4 ± 0.34 mm are formed around the mucous seeds. The extract of flax mucus also has fungicidal properties. The average diameter of the sterile zones after spot application of 0.05 ml flaxseed mucus to the mycelium of the fungus *F. oxysporum* was 9.65 ± 0.22 mm. Studies have revealed the phenomenon of a previously undescribed fungicidal activity of polysaccharide flaxseed mucus in relation to the fungus *F. oxysporum*. The revealed non-specific fungicidal activity of seminal mucus can be used in the breeding of common flax varieties, as a new trait of the natural protection of germinating seeds.

Ключевые слова: лен обыкновенный, семена льна, слизеобразующие полисахариды, льняные слизи, фунгицидная активность, почвенная микофлора, фузариозная корневая гниль

Key words: common flax, flax seeds, mucilage development polysaccharides, flax-seed mucilage, fungicidal activity, soil mycoflora, *Fusarium* root rot

Семена некоторых видов цветковых растений в тканях содержат специфические высокомолекулярные компоненты, которые при увлажнении быстро переходят в слизевидную форму. Эта особенность известна у представителей родов *Linum* L. (Лен), *Salvia* L. (Шалфей), *Camelina* L. (Рыжик), *Arabidopsis* Heynh. (Резуховидка), *Ocimum* L. (Базилик), *Cydonia* Mill. (Айва), *Plantago* L. (Подорожник) и ряда других [1-4] (рис. 1).

Явление ослизнения семян известно давно, но широкого внимания ученых не привлекало. Чаще всего в литературе упоминаются фармакологические свойства слизей, иногда отмечается их гипотетический вклад в закрепление семян на поверхности почвы и в улучшение водного режима на начальной стадии прорастания [3-6]. При этом биологическая и эволюционная роль слизеобразующих полисахаридов семян, в том числе взаимоотношения семенных слизей с почвенной микробиотой, изучены очень слабо. Однако тот

факт, что у целого ряда родственных видов цветковых растений в процессе филогенетической эволюции закрепились формы с быстро ослизняющимися семенами, может указывать на адаптивные преимущества этого признака. В частности, неоднократно отмечалось, что таксоны с ослизняющимися семенами произрастают в аридных условиях [4, 7, 8]. Наличие многочисленных гомологов по этому признаку среди представителей филогенетически неродственных семейств цветковых растений (Linaceae, Brassicaceae, Lamiaceae, Rosaceae, Plantaginaceae, Malvaceae и др.) позволяет предположить более общие эволюционные преимущества слизеобразования у семян [3, 7].

К одним из наиболее изученных представителей сельскохозяйственных растений с ослизняющимися семенами относятся виды рода *Linum* L., включая возделываемый на волокно и масло вид льна обыкновенного *L. usitatissimum* L. Массовая доля слизей у этого

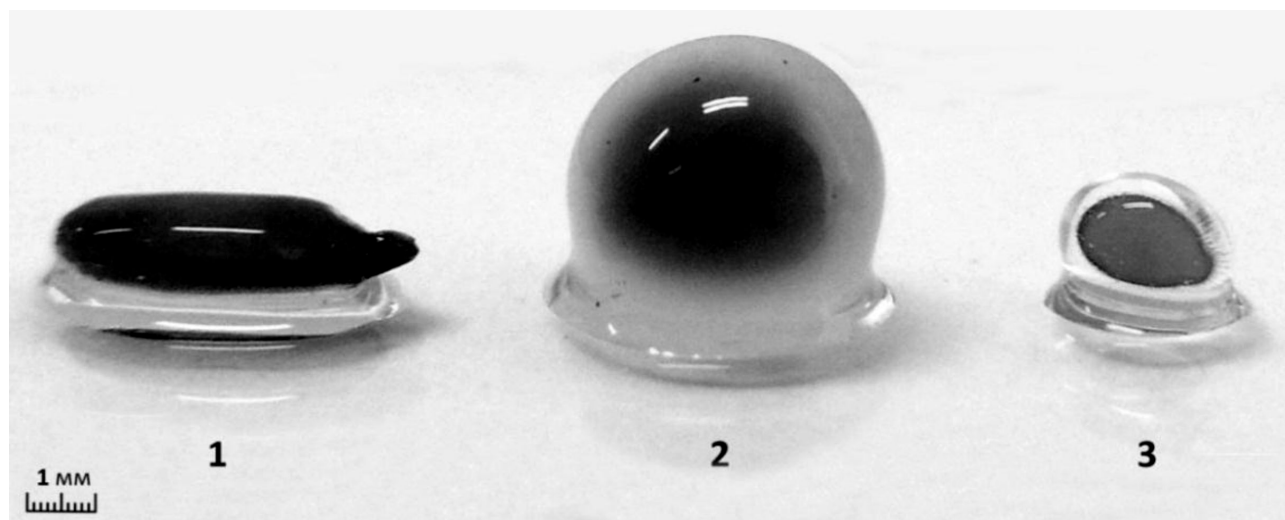


Рис. 1. Ослизнение семян некоторых видов цветковых растений после 3-минутной экспозиции в воде:
1 – лен обыкновенный (*Linum usitatissimum* L., сем. Linaceae DC ex Perleb);
2 – шалфей мускатный (*Salvia sclarea* L., сем. Lamiaceae Mart.);
3 – рыжик посевной (*Camelina sativa* (L.) Crantz., сем. Brassicaceae Burn.).

вида составляет не менее 2% от общей массы семени [9]. Из литературы известно, что эпидерма семенной оболочки льна содержит три группы высокомолекулярных полисахаридов, при увлажнении переходящих в слизевидную коллоидную форму. Наиболее вязкий нейтральный полисахарид с молярной массой $1,2 \times 10^6$ г/моль, составляющий 75–80% от общей доли, – это смесь арабиноксилана (56%) и галактоглобулана (44%). Минорный компонент слизи (до 20%) представляет собой гетерогенную группу галактуронанов, основную долю которых составляют два кислых полисахарида: AF1 с молярной массой $6,5 \times 10^5$ г/моль и AF2 с молярной массой $1,7 \times 10^4$ г/моль. Внутривидовое варьирование общего содержания семенных слизи у льна обыкновенного составляет 4–6–7% [10–14]. Все фракции слизиобразующих полисахаридов имеют период гидратации от 5 мин до 20–24 ч [15].

Благодаря наличию низкомолекулярных фракций полисахаридов в эпидерме оболочки, уже через 1–2 с после увлажнения поверхность семени льна ослизняется. Через 15–20 ч завершается гидратация наиболее высокомолекулярных и вязких фракций слизиобразующих полисахаридов, в том числе расположенных в нижележащих тканях оболочки [15]. В этой фазе над поверхностью семян формируются состоящие, как минимум, из трех фракций слизи желеобразные капсулы, в естественных полевых условиях обволакивающие прилегающие к семени частицы почвенного субстрата с почвенной микрофлорой.

Микрофлора разных типов почв представлена широким спектром бактерий, актиномицетов, грибов, водорослей и вирусов [16–18]. Одним из типичных представителей грибного комплекса почвенной микрофлоры являются виды рода *Fusarium* Link. сем. Nectriaceae Tul. & C. Tul. Они негативно влияют на жизнеспособность семян и развитие растений большинства цветковых, вплоть до полной их гибели. При промышленном выращивании сельскохозяйственных растений представители рода *Fusarium* наносят серьезный экономический ущерб [19, 20].

Методика. Исследования проводили в лаборатории отдела Федерального научного центра Всероссийский

научно-исследовательский институт масличных культур имени В.С. Пустовойта – ФНЦ ВНИИМК (Краснодар) в 2017–2018 гг. В качестве модельного объекта для изучения фунгицидной активности слизи был взят сорт масличного льна ВНИИМК 620 вида лен обыкновенный (*L. usitatissimum*). Для моделирования реакции патогенной почвенной микофлоры на контакты с семенными слизями льна использовали изоляты гриба *Fusarium oxysporum* (Schlecht.) Snyder & Hansen. Чистую культуру патогена культивировали на чашках Петри с агаризованной питательной средой Чапека в течение 3–6 сут. Выращенный инокулом в виде блоков культуры гриба площадью 0,60–0,65 см² в стерильных условиях переносили в центр чашки Петри с такой же питательной средой Чапека, свободной от патогена.

Эксперимент включал 2 варианта в 4-кратной повторности. В первом варианте по внешнему периметру каждой чашки Петри с 3-дневным мицелием гриба равномерно раскладывали по 8 сухих семян. Затем для полной гидратации слизиобразующих полисахаридов в семенных оболочках каждое семя точно увлажняли дистиллированной водой объемом 0,05 мл. Во втором варианте для исключения возможного ингибирующего влияния на мицелий гриба *F. oxysporum* эндогенных антигрибных токсинов, синтез которых мог начаться в прорастающих семенах, добавляли вытяжку льняной слизи. Льняную слизь получали путем суточного замачивания 1 г семян в 10 мл воды и последующего ее отделения от семян. Полученную вытяжку льняной слизи 0,05 мл наносили микропипеткой в 6 точках по внешнему периметру каждой чашки Петри с 6-дневным мицелием гриба. Затем их инкубировали в термостате при температуре 24 °C в течение 20 сут, ежедневно наблюдали за динамикой и характером роста мицелия *F. oxysporum* в зонах локализации льняных слизи. Всего было проведено 3 однотипных цикла наблюдений. Оценку фунгицидной активности льняных слизи проводили по размерам зон лизиса мицелия гриба в чашках Петри.

Результаты и обсуждение. Уже через 2–3 ч после увлажнения семян образовавшиеся на их поверхности слизи начинали угнетать гифы гриба. Через сутки

Табл. 1. Средний диаметр (мм) зон лизиса мицелия *F. oxysporum* вокруг ослизненных семян льна при $n=32$ в каждом цикле

Цикл наблюдений	Время экспозиции, сут								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	9,48	9,49	9,48	9,48	9,48	9,38	9,37	9,35	9,32
2	9,55	9,56	9,56	9,56	9,55	9,52	9,49	9,46	9,42
3	9,48	9,51	9,51	9,49	9,49	9,45	9,42	9,37	9,31

Табл. 2. Средний диаметр (мм) зон лизиса мицелия *F. oxysporum* в точках нанесения вытяжек льняных слизей при $n=32$ в каждом цикле

Цикл наблюдений	Время экспозиции, сут								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	9,85	9,87	9,87	9,87	9,87	9,85	9,84	9,56	9,12
2	9,72	9,72	9,72	9,71	9,71	9,63	9,61	9,53	9,23
3	9,78	9,78	9,78	9,78	9,78	9,71	9,43	9,26	9,01

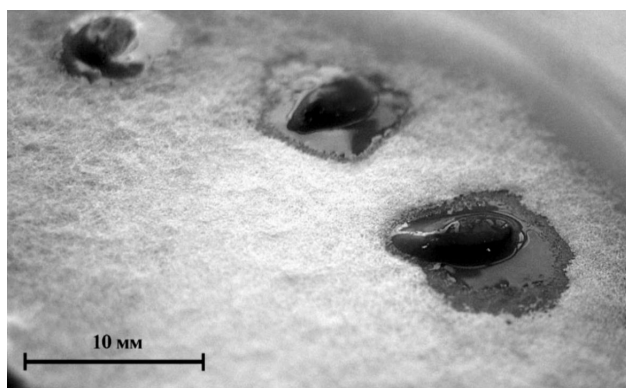


Рис. 2. Ингибирование роста мицелия гриба *F. oxysporum* семенными слизями льна на 7-е сутки после их увлажнения.

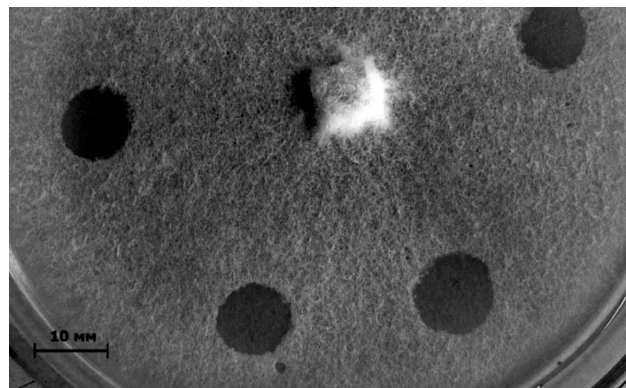


Рис. 3. Ингибирование роста гриба *F. oxysporum* вытяжкой семенных слизей льна через сутки после ее нанесения.

вокруг семян образовывалась свободная от гриба стерильная зона, совпадающая с зоной распространения слизей (рис. 2). Усредненный диаметр зон лизиса вокруг семян льна с типичной слизиобразующей способностью, включая их поверхность, в течение первых 9 суток в среднем составлял 9,46 мм (табл. 1).

Через 5 сут после начала эксперимента наблюдали незначительное снижение зоны лизиса за счет вторичного зарастания периферии мицелием. В целом фунгицидный эффект семенных слизей сохранялся до прорастания семян с пролонгацией до 9 сут. В естественных полевых условиях этого периода обычно достаточно для появления всходов льна над поверхностью почвы.

Эксперименты показали, что обособленная вытяжка льняных слизей также обладает фунгицидными свойствами (рис. 3). Как и в предыдущем опыте, только через 5 сут после его начала было отмечено незначительное вторичное зарастание мицелием периферии зон лизиса (табл. 2). Средний диаметр зон лизиса мицелия гриба в точках нанесения капель вытяжек семенной слизи льна в течение первых 9 сут составлял 9,65 мм, что оказалось практически идентичным размерам стерильных зон вокруг ослизненных семян льна.

Наши исследования выявили феномен ранее не описанной фунгицидной активности высокомолекулярных полисахаридных слизей семян льна в отношении почвенного гриба *F. oxysporum*. Можно предположить, что в процессе эволюции ряда семейств цветковых растений появился признак слизиобразования у семян, и за счет неспецифических фунгицидных свойств слизей обеспечиваются повышенная защита и выживаемость

таких форм при контактах с агрессивной почвенной микофлорой на стадии прорастания семян и выхода проростков на поверхность почвы. Однако на последующих этапах онтогенеза эффективность антигрибной активности семенных слизей, очевидно, станет снижаться вследствие микробиологической и биохимической деградации молекулярной структуры слизей [21]. Еще одним фактором снижения фунгицидного эффекта семенных слизей на более поздних этапах онтогенеза растений будут пересыхание верхнего слоя почвы в засушливых условиях на глубине заделки семян и дегидратация слизиобразующих полисахаридов.

Выявленная неспецифическая фунгицидная активность семенных слизей может быть использована при селекции масличных и долгунов сортов льна обыкновенного как новый хозяйственно-полезный признак естественной защиты прорастающих семян от патогенной почвенной микофлоры. При этом селекция может быть направлена на выделение как исходного материала льна с повышенной слизиобразующей способностью семян, так и форм льна с повышенной фунгицидной активностью слизей к возбудителю корневой гнили – *F. oxysporum*.

Литература

1. Жуковский П.М. Культурные растения и их сородичи. Систематика, география, цитогенетика, иммунитет, экология, происхождение, использование. – Л.: Колос, 1971. – 752 с.
2. Вехов В.Н., Губанов И.А., Лебедева Г.Ф. Культурные растения СССР. – М.: Мысль, 1978. – 336 с.
3. Yang X., Baskin J., Baskin C., Huang Z. More than just a

- coating: ecological importance, taxonomic occurrence and phylogenetic relationships of seed coat mucilage // *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*. – 2012. – Vol. 14. – P. 434–442.
4. North H.M., Berger A., Saez-Aguayo S., Ralet M.-C. Understanding polysaccharide production and properties using seed coat mutants: future perspectives for the exploitation of natural variants // *Annals of Botany*. – 2014. – Vol. 114. – P. 1251–1263.
 5. Сауткина Т.А., Поликсенова В.Д. Морфология растений: Курс лекций в 2 ч., Ч. 1. – Минск: БГУ, 2004. – 115 с.
 6. Коноплева М.М. Фармакогнозия: природные биологически активные вещества. – Витебск: ВГМУ, 2010. – 234 с.
 7. Kreitschitz A. Mucilage formation in selected taxa of the genus *Artemisia* L. (Asteraceae, Anthemideae) // *Seed Science Research*. – 2012. – Vol. 22. – P. 177–189.
 8. Yang X., Baskin C.C., Baskin J.M., Liu G., Huang Z. Seed Mucilage Im-proves Seedling Emergence of a Sand Desert Shrub // *PLoS ONE*. – 2012. – Vol. 7. – Issue 4. e34597 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0034597>
 9. Naran R., Chen G., Carpita N.C. Novel rhamnogalacturonan I and arabinoxylan polysaccharides of flax seed mucilage // *Plant Physiolog*. – 2008. – Vol. 148. – P. 132–141.
 10. Fedeniuk R.W., Biliaderis C.B. Composition and physicochemical properties of linseed (*Linum usitatissimum* L.) mucilage. // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 1994. – Vol. 42. – P. 240–247.
 11. Cui S.W. Polysaccharide gums from agricultural products: Processing, structures & functionality. – Technomic Publishing, Lancaster, 2001. – 269 p.
 12. Warrand J., Michaud P., Picton L., Muller G., Courtois B., Ralainirina R., Courtois J. Structural investigation of the neutral polysaccharide of *Linum usitatissimum* L. seed mucilage // *International Journal of Biological Macromolecules*. – 2005. – Vol. 35. – № 3–4. – P. 121–125.
 13. Оленников Д.Н., Танхаева Л.М. Исследование процесса экстракции полисахаридов семян льна (*Linum usitatissimum* L.) // *Химия растительного сырья*. – 2007. – № 4. – С. 79–83.
 14. Duguid S.D. Flax / In: *Oil Crops, Handbook of Plant Breeding 4* / Ed. by J. Vollmann and I. Rajcan. – London-New York, Springer, 2009. – P. 233–255.
 15. Зеленцов С.В., Мошненко Е.В. Количественная и качественная оценка слизей семян масличных сортов льна *L. usitatissimum* L. // *Масличные культуры*. – 2012. – Вып. 2 (151–152). – С. 95–102.
 16. Почвенная микробиология. / Ed. by N. Walker. Butterworths, London & Boston, 1975. / Пер. с англ. В.В. Новикова; Под ред. Д.И. Никитина – М.: Колос, 1979. – 316 с.
 17. Mendes R., Garbeva P., Raaijmakers Jos M. The rhizosphere microbiome: significance of plant beneficial, plant pathogenic, and human pathogenic microorganisms // *FEMS Microbiology Reviews*. – 2013. – Vol. 37, Issue 5. – P. 634–663.
 18. Larsen J., Jaramillo-López P., Nájera-Rincon M., González-Esquivel C.E. Biotic interactions in the rhizosphere in relation to plant and soil nutrient dynamics // *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. – 2015. – Vol. 15. – Issue 2. – P. 449–463.
 19. Gerlach W., Nirenberg H. The genus *Fusarium*. A Pictorial Atlas – Berlin, 1982. – 407 p.
 20. Fracchia S., Garcia-Romera I., Godeas A., Ocampo J.A. Effect of the sapro-phytic fungus *Fusarium oxysporum* on arbuscular mycorrhizal colonization and growth of plants in greenhouse and field trials // *Plant Soil*. – 2000. – Vol. 223. – P.175–184
 21. Yang X., Baskin C.C., Baskin J.M., Zhang W., Huang Z. Degradation of seed mucilage by soil microflora promotes early seedling growth of a desert sand dune plant // *Plant Cell and Environment*. – 2012. – Vol. 35. – P. 872–883.

Поступила в редакцию 10.11.19

После доработки 04.12.19

Принята к публикации 09.12.19

АССОЦИАЦИИ СОРНЫХ РАСТЕНИЙ В АГРОФИТОЦЕНОЗАХ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ

Л.П. Шаталина, Ю.П. Анисимов, кандидаты сельскохозяйственных наук,
Е.Л. Калюжина

Челябинский научно-исследовательский институт сельского хозяйства,
456404, Челябинская область, Чебаркульский район, п. Тимирязевский, ул. Чайковского, 14
E-mail: lubashatalina@mail.ru

Дана оценка ассоциаций популяций сорных растений в агрофитоценозе яровой пшеницы в севооборотах при использовании отвальной и нулевой технологии обработки почвы на двух фонах минерального питания. В задачи исследований входило установить различия сукцессий сорного компонента в агрофитоценозе яровой пшеницы по видовому составу, а также численности и удельному весу популяций сорняков северной лесостепной зоны Челябинской области. Определено влияние основных показателей популяций сорных растений на биомассу яровой пшеницы. Установлено, что сукцессии популяций сорных растений изменяются в зависимости от фона минерального питания и севооборота: видовой состав таких популяций переходит от смешанного типа засорения к малолетнему. По устойчивости к популяциям малолетних сорняков выявлены лучшие предшественники яровой пшеницы – пар, горох, озимая рожь. Однолетние травы, овес, горох были слабо конкурентоспособными, что сказывалось как на численности, так и на массе ассоциаций популяций малолетних сорняков. Сильная биомасса яровой пшеницы, менее подверженная воздействию популяций многолетних сорняков, отмечена в варианте предшественника пар, затем следовал горох. Фон удобренности существенно не влиял на долю популяций сорняков. Нулевая технология основной обработки почвы приводила к сукцессии популяций сорного компонента агрофитоценоза яровой пшеницы. Возделывание ее в монокультуре независимо от технологии и фона удобрений обеспечивала сукцессию сорных растений с меньшим числом популяций. Усиление антропогенного воздействия на популяции растительных сообществ новыми химическими препаратами, а также использование современной сельскохозяйственной техники приводили к сукцессиям видов и численности растений, поэтому возникает необходимость в управлении и прогнозировании этих процессов. Подобные исследования необходимы для разработки эффективных мероприятий по контролю за ассоциациями популяций сорных растений и их развитию в агрофитоценозе яровой пшеницы.

ASSOCIATIONS OF WEED PLANTS IN AGROPHYTOCENOSIS SPRING WHEAT

Shatalina L.P., Anisimov Yu.P., Kalyuzhina E.L.

Federal State Scientific Institution Chelyabinsk Research Institute of Agriculture,
456404, Chelyabinskaya oblast, Chebarkul'skiy rayon, p. Timiryazevskiy, ul. Chaikovskaya, 14
E-mail: lubashatalina@mail.ru

The associations of weed populations in the agrophytocenosis of spring wheat in crop rotation are estimated using heap soil cultivation technology and zero on two backgrounds of mineral nutrition. The research objectives included: to establish the differences in succession of the weed component in the agrophytocenosis of spring wheat, by species composition, as well as the number and specific gravity of weed populations of the northern forest-steppe zone of the Chelyabinsk region. The influence of the main indicators of weed populations that synthesize their influence on the spring wheat biomass is determined. It was established that successions of weed populations vary depending on the background of mineral nutrition and crop rotation. The species composition of weed populations goes from a mixed type of weed to a young one. In terms of resistance to populations of young weeds, the best predecessors of spring wheat are steam, peas, and winter rye. Annual grasses, oats, and peas are weakly competitive, which sharply affects the growth of both the number and mass of associations of populations of young weeds. The strong biomass of spring wheat is less affected by populations of perennial weeds was detected on the variant of the predecessor of pairs, followed by peas. Fertilizer background did not significantly affect the specific gravity of weed populations. Zero main soil cultivation technology leads to succession of populations of the weed component of spring wheat agrophytocenosis. The cultivation of spring wheat in a monoculture, regardless of the cultivation technologies and fertilizer backgrounds, provides succession of weeds with fewer populations. Strengthening the anthropogenic impact on populations of plant communities with more and more new chemicals, as well as the use of modern agricultural technology leads to succession of plant species and abundance, so there is a need to manage and predict these processes. [1]. These studies help to develop effective measures to control associations of weed populations and their development in spring wheat agrophytocenosis.

Ключевые слова: популяции, ассоциации, агрофитоценоз яровой пшеницы, сорные растения, сукцессии

Key words: populations, associations, agrophytocenosis of spring wheat, weed plants, successions

Борьба с сорной растительностью стала одной из главных проблем в защите растений, без решения которой все мероприятия по повышению плодородия почвы и продуктивности сельскохозяйственных культур неэффективны [2]. Яровая пшеница занимает в структуре посевных площадей более 50% и среди злаковых культур очень требовательна к режиму питания. Оптимальный режим питания предусматривается при содержании гумуса в почве более 3-4%, при этом запасы органического вещества должны составлять 300-600 т/га, что обеспечивает высокое содержание доступных элементов питания растениям (кальция, магния, кремния и зольных элементов) [3]. Стрессовые факторы ассоциируются у культурных и сорных растений как во времени, так и в пространстве. Агрофитоценоз

яровой пшеницы формируется под воздействием антропогенных факторов. Как доминирующая культура яровая пшеница нарушает его гомеостаз, в этом случае равновесное состояние численности культурных и популяций сорных растений устанавливается природным воздействием [4]. Среда обитания и разнообразные агрономические условия возделывания культур приводят к формированию характерных агробиоценозов. Агротехнические приемы влияют на взаимоотношения абиотических и биотических компонентов, что характеризует сопротивляемость и состояние агроэкосистемы [5]. Сельскохозяйственные культуры сильно воздействуют на агрохимические, агрофизические и биологические свойства почвы и во многом определяют ее водный, пищевой и фитосанитарный режим [6]. В условиях

стрессового фактора проявляется адаптация к нему реакции растений яровой пшеницы, в основном изменением биомассы. Сорный компонент агробиоценоза – один из значимых факторов, определяющих биомассу этой культуры. Хорошо развитые растения яровой пшеницы сильнее угнетают сорняки. Конкуренция между ними может повлиять на физические свойства почвы, водно-воздушный, тепловой и световой режим агрофитоценоза и зависит, в частности, от численности популяций сорных растений в посевах. Популяции сорных растений в свою очередь негативно воздействуют на сельскохозяйственные культуры. Для их анализа в последние годы используют методы математического моделирования, спутникового зондирования Земли на основе NDVI и компьютерных программ [7,8].

Целью настоящей работы было выявить формирование ассоциаций популяций сорных растений в посевах яровой пшеницы в различных севооборотах на двух фонах минерального питания.

Методика. Исследования по формированию ассоциаций популяций сорных растений в агрофитоценозах яровой пшеницы в различных севооборотах проводили в несколько этапов: в 2009-2013 и 2014-2018 гг. Закладку опытов осуществляли по Методике полевого опыта с основами статистической обработки результатов (Б.А. Доспехова 1985 г.). На первом этапе опытов применяли технологию обработки почвы согласно рекомендованной для северной лесостепной зоны Челябинской области – отвальную, на втором – нулевую технологию в связи с совершенствованием систем обработки почвы [9].

Схема опыта и система удобрений в 2009-2013 гг.: 1 – пар – пшеница – пшеница – пшеница, фон P_{22} и фон $N_{50}P_{22,5}$; 2 – однолетние травы – пшеница – горох – ячмень + донник, фон P_{27} и фон $N_{60}P_{22,5}$; 3 – овес – пшеница, фон P_{30} и фон $N_{80}P_{30}$; 4 – пар – озимая рожь – горох – пшеница, фон P_{22} и фон $N_{30}P_{22,5}$; 5 – донник – озимая рожь – пшеница – ячмень + донник, фон $P_{22,5}$ и фон $N_{50}P_{22,5}$; 6 – пшеница (бессменно), фон P_{30} и фон $N_{80}P_{30}$. Посевы зернобобовых культур обрабатывали против многолетних и злаковых сорняков гербицидами Балерина в дозе 0,5 л/га + Ластик экстра в дозе 1,0 л/га и Гербитокс в дозе 0,8 л/га.

Схема опыта и система удобрений в 2014-2018 гг.: 1 – пар – озимая рожь – горох – пшеница, фон без удобрений и фон $N_{17,5}P_{22,5}$; 2 – рапс – пшеница – горох – пшеница, фон без удобрений и фон $N_{30}P_{30}$; 3 – пшеница (бессменно), фон без удобрений и фон $N_{40}P_{30}$. За 7-8 дней до посева проводили опрыскивание глифосатом Торнадо 500 в дозе 3-4 л/га. В период кушения посевы опрыскивали гербицидами против двудольных и злаковых однолетних сорняков (Балерина 0,5 л/га + Ластик-экстра 1,0 л/га, Гербитокс 0,8 л/га и Миура 0,8 л/га на горохе). Засоренность агробиоценозов учитывали количественно-весовым методом по Методике НИ-ИСХ Юго-Востока [10]. Результаты анализов подвергали статистической обработке по программе Snedecor.

Результаты и обсуждение. Условия Южного Урала имеют ограниченные ресурсы тепла и влаги для стабильного получения зерна, поэтому все мероприятия по борьбе с сорной растительностью агрофитоценозов направлены на снижение ее ценогического воздействия на культурное растение. На видовой состав и численность популяций сорняков значительно влияют элементы систем земледелия, в частности, севооборот и предшественник [11, 12]. Нашей задачей было изучить взаимоотношения культуры и сукцессий популяций сорных растений в агрофитоценозах яровой пшени-

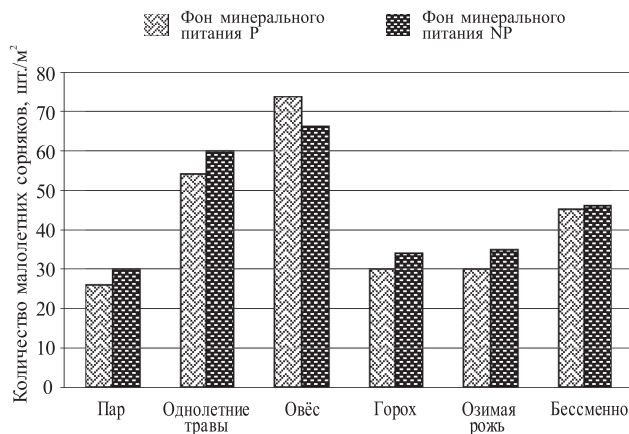


Рис. 1. Количество популяций малолетних сорняков в посевах яровой пшеницы по различным предшественникам на двух фонах минерального питания.

цы в различных условиях местообитания (севооборот, предшественник, фон удобрений, а также технология возделывания). Анализ вариантов при отвальной технологии обработки почвы показал четкие сукцессии популяций сорного компонента в зависимости от предшественника яровой пшеницы, в частности, по численности популяций малолетних сорняков (рис. 1).

В ассоциациях популяций малолетних сорняков при посеве по чистому пару было меньше число однодольных злаковых сорняков вида *Setaria viridis* L., *Echinochloa crus-galli* L. ($HCP_{05}=19$ шт./м²) вследствие высокой очищающей способности пара в отношении сорняков. Их численность при посеве по овсу оказалась на 42 шт./м² больше по сравнению с паровым предшественником, среди них наблюдали *Polygonum scabrum* L., *Gialeopsis ladanum* L., *Galium aparine* L., *Erodium cicutarium*. Фон удобрений существенно не влиял на численность популяций малолетних сорняков, особенно при возделывании яровой пшеницы бессменно. Выпадение летних осадков после обработки посевов гербицидами провоцировало новую волну популяций сорняков: посевы яровой пшеницы оказались засоренными однодольными злаковыми сорняками. Лучшими предшественниками этой культуры по устойчивости к популяциям малолетних сорняков были пар, горох, озимая рожь.

По массе популяций малолетних сорняков можно судить о воздействии их на культурные растения (рис. 2). Масса популяций малолетних однодольных в агрофитоценозе яровой пшеницы при посеве по пару и гороху была несколько ниже чем, по таким предшественникам, как однолетние травы, яровая пшеница бессменно и овес, в частности на фоне P – на 14-41 г/м², на фоне NP – на 18-68 г/м². Слабая конкурентоспособность однолетних трав, овса, гороха сильно сказывалась на численности и массе популяций малолетних однодольных злаковых сорняков, что подтверждается другими учеными [13]. Высокая засоренность этими популяциями сорняков посевов яровой пшеницы обусловлена количеством выпавших осадков за вегетацию, а также ограниченностью выбора гербицидов одновременного действия против злаковых и многолетних сорняков.

Ассоциации популяций многолетних сорняков в агрофитоценозе яровой пшеницы представлены следующими корнеотпрысковыми сорняками: *Cirsium*

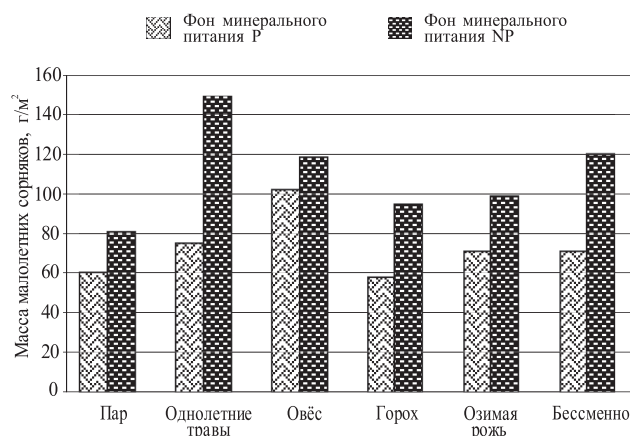


Рис. 2. Масса популяций малолетних сорняков в посевах яровой пшеницы по различным предшественникам на двух фонах минерального питания.

arvensis L., *Sonchus arvensis* L., *Convolvulus arvensis* L. Количество таких популяций при посеве яровой пшеницы по однолетним травам и гороху на фоне Р увеличивалось на 3 шт./м² и массы – на 42-79 г/м², что согласуется с исследованиями других ученых [6], так как слабая биомасса (на 207-290 г/м² меньше) яровой пшеницы в этих вариантах предшественников не всегда могла подавить вегетирующие сорняки даже при обработке гербицидами (НСР₀₅=140 г/м²) (табл. 1).

Аналогичная закономерность установлена и по численности популяций многолетних сорняков на фоне NP при уменьшении массы сорняков на 23-68 г/м². Биомасса яровой пшеницы, менее подверженная воздействию сорняков, была выявлена в варианте предшественника пар, затем следовал горох, что обусловлено более благоприятным режимом питания в корнеобитаемом слое почвы и бездефицитным содержанием влаги в фазе всходы – кущение [14]. Сильная биомасса яровой пшеницы существенно влияла на сорный компонент агрофитоценоза в борьбе за основные факторы жизни, что имеет большое экономическое, эволюционное и практическое значение.

Степень воздействия популяций сорного компонента отражалась на показателе удельной массы сорняков в агрофитоценозе по вариантам предшественников яровой пшеницы (НСР₀₅=6). Так, однолетние травы и овес уступали по степени засорения посевов другим предшественникам на 7-8%. Фон удобрений значительно не влиял на величину удельного веса популяций сорняков.

Сукцессии популяций сорных растений претерпевают изменения как в пространстве, так и во времени в зависимости от факторов среды и ее компонентов, что сказывается в большинстве случаев не на качественном, а на количественном их составе. Вид сорного компонента остается таким же, меняются взаимоотношения с абио- и биотическим компонентом среды. Яровую пшеницу в данном случае можно рассматривать как доминанту в агробиоценозе и как фактор, влияющий на окружающую среду.

Технологии основной обработки почвы привели к сукцессии популяций сорного компонента агрофитоценоза яровой пшеницы (табл. 2). В оптимизированном агрофитоценозе совершенствование систем обработки почвы направлено на поддержание уровня засоренности посевов ниже порога вредоносности [15].

Использование нулевой технологии обработки почвы при посеве яровой пшеницы по предшественнику гороху на фоне без удобрений снижало количество популяций малолетних сорняков на 80 шт./м², на фоне удобрений – на 13 шт./м². В бессменных посевах яровой пшеницы численность популяций малолетних сорняков на фоне без удобрений уменьшалось на 30 шт./м², на фоне удобрений – на 31 шт./м². Это прежде всего связано с антропогенным воздействием гербицидов сплошного действия перед посевом культуры – обязательным агроприемом при нулевой технологии обработки почвы при прямом посеве. Сукцессии популяций сорного компонента изменялись при смене отвальной обработки почвы на нулевую: исчезли популяции многолетних корнеотпрысковых сорных растений *Cirsium arvensis* L., *Sonchus arvensis* L., *Convolvulus arvensis* L. в агрофитоценозе яровой пшеницы независимо от предшественника и фона удобрений. Повсеместно стал преобладать злаковый тип засорения посевов такими

Табл. 1. Показатели засоренности агрофитоценоза яровой пшеницы

Предшественник	Масса культуры, г/м ²		Численность многолетних сорняков, шт./м ²		Масса многолетних сорняков, г/м ²		Доля сорняков, %	
	Фон Р ₃₀	Фон NP	Фон Р ₃₀	Фон NP	Фон Р ₃₀	Фон NP	Фон Р ₃₀	Фон NP
Пар	858	863	1	1	3	19	7	9
Однолетние травы	476	661	4	3	82	14	18	16
Овес	598	708	1	2	2	7	16	16
Горох	756	746	4	2	45	22	12	13
Озимая рожь	655	691	2	2	8	24	9	11
Яровая пшеница (бессменно)	614	716	1	1	2	1	10	14

Примечание. Фон NP – по схеме севооборота.

Табл. 2. Параметры сукцессий популяций сорных растений в посевах яровой пшеницы по различным предшественникам

Предшественник	Обработка почвы	Фон удобрений	Малолетних сорняков		Многолетних сорняков		Масса культуры, г/м ²	Удельная масса сорняков, %
			шт./м ²	г/м ²	шт./м ²	г/м ²		
Горох	Отвальная	Без удобрений	90	57	2	22	716	9
		NP	34	94	1	11	746	13
	Нулевая	Без удобрений	45	70	0	0	614	10
		NP	46	119	0	0	716	14
Бессменно	Отвальная	Без удобрений	10	16	0	0	692	2
		NP	21	39	0	0	803	4
	Нулевая	Без удобрений	15	28	0	0	500	5
		NP	10	30	0	0	633	4

Примечание. Фон NP по схеме севооборота.

популяциями сорняков, как *Echinochloa crus-galli* L., *Setaria viridis* L., что подтверждается другими учеными [16]. При этом масса популяций малолетних сорняков была существенно ниже в варианте с нулевой технологией на 39-55 г/м² при посеве по гороху и на 42-84 г/м² в бессменной культуре. В большей степени это обусловлено изменением среды обитания и ее компонентов. Биомасса яровой пшеницы при посеве бессменно при нулевой технологии испытывала угнетение вследствие ухудшения азотного режима питания растений на фоне без удобрений. Изменение режима ее питания в бессменном посеве по нулевой технологии несколько улучшило условия произрастания культуры, что способствовало увеличению биомассы на 133 г/м². Сегетальные растения менее требовательны к основным факторам жизни, поэтому они вегетируют в виде популяций однодольных малолетних злаковых сорняков вида *Setaria viridis* L., *Echinochloa crus-galli* L. независимо от технологии возделывания. Удельная масса популяций сорных растений существенно зависела от предшественника, при посеве по гороху она была больше порога экономической вредоносности на 3-4%, особенно на фоне NP. Бессменное возделывание яровой пшеницы независимо от технологии возделывания и фона удобрений обеспечивала сукцессии сорных растений с меньшим числом их популяций. Прежде всего это связано с ежегодным применением гербицидов сплошного действия до посева и по вегетации, а также умеренных доз азотно-фосфорных удобрений.

Таким образом, лучшие предшественники яровой пшеницы по устойчивости к популяциям малолетних сорняков – пар, горох, озимая рожь. Слабая конкурентоспособность однолетних трав, овса, гороха привела к повышению численности и массы ассоциаций таких популяций.

Ассоциации популяций многолетних сорняков при посеве яровой пшеницы по однолетним травам и гороху на фоне P увеличились на 3 шт./м², масса – на 42-79 г/м².

Сукцессии популяций сорного компонента изменились при смене отвальной обработки почвы на нуле-

вую – исчезли популяции многолетних корнеотпрысковых сорных растений

Сегетальные растения представляют собой большую часть биологического разнообразия региональной флор, и их изучение важно для понимания закономерностей формирования антропогенных вариантов растительных сообществ. Изучение биологического разнообразия ассоциаций популяций сорных растений и получение данных об основной зерновой культуре, ее реакции на среду обитания дает возможность разрабатывать эффективные мероприятия по контролю и развитию в агрофитоценозе.

Активное развитие нанотехнологий обуславливает актуальность данных исследований, так как позволяет установить закономерности воздействия техногенных наноматериалов на растительные клетки *Triticum aestivum* L. [17].

Литература

1. Синещёков В.Е., Красноперов А.Г., Красноёрова Е.М. Особенности сукцессий сорной растительности в зерновых агрофитоценозах Приобья // Сельскохозяйственная биология. – 2004. – Т.39 – №1. – С.78-82.
2. Рзаева В.В. Биологические группы сорных растений в посевах яровой пшеницы // Аграрный вестник Урала. – 2018. – №08(175). – С.51-56.
3. Вальков А.Н. Почвенная экология сельскохозяйственных растений. – М.: Агропромиздат, 1986. – 208 с.
4. Захаренко А.В. Теоретические основы управления сорным компонентом агрофитоценоза // Аграрная наука. – 2000. – №9. – С.16-17.
5. Власенко А.Н., Власенко Н.Г. Особенности формирования агроценозов ярового рапса в лесостепи Западной Сибири // Вестник Россельхозакадемии. – 2002. – №3. – С.35-37.
6. Каличкин В.К., Захаров Г.М., Крупская Т.Н., Зобнина М.В. Контроль за сорняками в посевах яровой пшеницы // Земледелие. – 2003. – №1. – С.30-31.
7. Письман Т.И., Ботвич И.Ю. Конкуренция культур-

- ных и сорных растений в агроценозах на основе спутниковой информации // Журнал Сибирского федерального университета. серия: Техника и технология. – 2018. – Т. 11. – №1. – С.95-101.
8. Lindquist J.L., Martenser D.A., Westra P. Lambert et W.J. Stability of corn (*Zea mays*) – foxtail (*Setaria spp.*) interference relationships // *Weed Sc.* – 1999. – V.47. – №2. – P. 195-200.
 9. Вразнов А.В. О совершенствовании систем земледелия на Южном Урале // Совершенствование системы земледелия Южного Урала: Материалы координационного совета по разработке и внедрению адаптивно-ландшафтных систем земледелия. – Челябинск, 2012. – С.3-6.
 10. Смирнов Б.М. Методика и техника учёта сорняков // Сб. науч. тр./НИИСХ Юго-Востока. – Саратов, 1969. – Вып.26. – С.196.
 11. Чуманова Н.Н. Оценка влияния предшественников на сорный компонент агрофитоценоза // Вестник Кемеровского сельскохозяйственного института. – 2014. – №5. – С.78-83.
 12. Шпанёв А.М., Лекомцев П.В., Пасынков А.В., Пасынкова Е.Н. Фитосанитарная обстановка в посевах яровой пшеницы на северо – западе Нечерноземной зоны // *Зерновое хозяйство России.* – 2016. – №5. – С.67-70.
 13. Державин Л.М., Исаев В.В., Березкин Ю.Н. Засоренность полей и задачи комплексной борьбы с сорняками // *Земледелие.* – 1984. – №2. – С.45-47.
 14. Каплин В.Г. Зональные особенности засорённости посевов мягкой яровой пшеницы // *Известия Самарской сельскохозяйственной академии.* – 2018. – №2. – С.13-20.
 15. Замятин С.А., Ефимова А.Ю. Мониторинг засорённости полевых севооборотов // *Вестник Марийского государственного университета.* – 2017. – Т. 3. – №1. – С.33-38.
 16. Красножон С.М. Влияние элементов технологии возделывания на сорный компонент агроценоза яровой пшеницы // *АПК России.* – 2015. – Т.74. – С.134-140.
 17. Зотикова А.П., Астафурова Т.П., Буренина А.А., Сучкова С.А., Моргалёв Ю.Н. Морфофизиологические особенности проростков пшеницы (*Triticum aestivum*) // *Сельскохозяйственная биология.* – 2018. – Т. 53 – №3. – С.578-586.

Поступила в редакцию 17.10.19
После доработки 15.11.19
Принята к публикации 05.12.19

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОЛИЗОВАННОЙ ВОДЫ В СИСТЕМЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО БОРЬБЕ С БОЛЕЗНЯМИ РАССАДЫ ТОМАТА

С.Я. Семенов, доктор сельскохозяйственных наук,
М.Н. Лытов, Е.И. Чушкина, кандидаты сельскохозяйственных наук,
А.Н. Чушкин, кандидат технических наук

Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций
и защитного лесоразведения Российской академии наук,
400062, Волгоград, пр. Университетский, 97
E-mail: pniiemt@yandex.ru

Целью настоящего исследования была экспериментальная оценка эффективности использования электролизованной воды для подавления активности и сдерживания распространения фитопатогенной микрофлоры при выращивании рассады томата во внесезонный период. Объект исследований – искусственно культивируемые фитоценозы рассады томата. Изучали качественные и количественные закономерности, характеризующие зависимость распространения фитопатогенной микрофлоры в посевах рассады томата при проведении обработок электролизованной водой, а также способы и режимные параметры применения электролизованной воды. Количественная оценка сдерживания болезней в посевах рассады томата проведена с учетом видового состава патогенов. Подтверждена эффективность применения электролизованной воды для подавления активности возбудителей фузариозной корневой гнили (*Fusarium oxysporum f.sp. radicislycopersici*), центропозы (*Septoria lycopersici*) и корневых гнилей томата (*Pythium debaryanum*, *Pythium ultimum*). Установлено, что патогены – возбудители фузариозной корневой гнили наиболее чувствительны к обработкам католитом -600 мВ; их распространение хорошо сдерживается также анолитом $+800$ мВ. Такие параметры электрохимической водоподготовки были оптимальными при дезинфекции грунта в монотехнологии, что привело к снижению общего числа пораженных растений на 34,8–63,6%. Использование электролизованной воды с микробиологическим препаратом Бисолбисан при организации поочередной схемы проливок с интервалом 1 сут уменьшило число выбракованных растений на 44,4–66,6%. Этот способ оказался и самым эффективным в сдерживании распространения изучаемых болезней на уровне 0,8–2,0 %.

APPLICATION OF ELECTROLIZED WATER IN THE SYSTEM OF MEASURES FOR COMBATING THE DISEASES OF TOMATIAN SEEDLING

Semenenko S.Ya., Lytov M.N., Chushkina E.I., Chushkin A.N.

Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective
Afforestation of the Russian Academy of Sciences,
400062, Volgograd, pr. Universitetskii, 97
E-mail: pniiemt@yandex.ru

The purpose of this study is to experimentally assess the effectiveness of using electrolyzed water to suppress the activity and contain the spread of pathogens when growing tomato seedlings during the off-season. The object of research is artificially cultivated phytocenoses of tomato seedlings. The subject of research is the qualitative and quantitative laws that characterize the dependence of the distribution of phytopathogenic micro-flora in seedlings of tomato seedlings, during the processing of electrolyzed water, methods and operating parameters of the use of electrolyzed water. Quantitative assessment of the containment of diseases in crops of tomato seedlings was carried out taking into account the species composition of phytopathogens. Studies have confirmed the effectiveness of using electrolyzed water to suppress the activity of the causative agents of *Fusarium* root rot (*Fusarium oxysporum f.sp. radicislycopersici*), *Septoria* (*Septoria lycopersici*) and root rot of tomato (*Pythium debaryum*, *Pythium ultimum*). It is established that pathogens - causative agents of fusarial root rot are most sensitive to catholyte treatments, -600 mV, their distribution is also well controlled by anolyte, $+800$ mV. Such parameters of electrochemical water treatment turned out to be optimal when using electrolyzed water to disinfect the soil as an independent technology, which ensured a reduction in the total number of affected plants by 34.8–63.6%, and when used in combination with the microbiological preparation Bisolbisan with the organization of alternate spraying patterns with an interval in 1 day, which ensured a decrease in the total number of affected plants by 44.4–66.6%. The latter method proved to be the most effective and ensured the containment of the spread of the listed diseases at the level of 0.8–2.0%.

Ключевые слова: томаты, рассада, болезни, защита растений, электролизованная вода

Key words: tomatoes, seedlings, diseases, plant protection, electrolyzed water

Сезонное производство рассады томата для последующего промышленного ее использования в весенних пленочных теплицах на Нижней Волге охватывает период с февраля по март. Выращивание рассады связано с необходимостью использования капитальных отапливаемых сооружений для поддержания оптимального микроклимата в посевах [1–3]. Ресурсоемкость такого производства достаточно высока и от выхода хорошо сформированных качественных рассадных растений напрямую зависит себестоимость продукции. Одна из главных причин выбраковки рассадных растений – поражение фитопатогенной микрофлорой [4, 5]. Современные способы защиты рассады достаточно затратны и допускают использование токсических средств химической природы, отрицательно

сказывающихся на качестве растений [6–8]. Разработка и освоение новых экологически безопасных способов защиты растений при производстве рассадной продукции, в том числе, основанных на использовании электролизованной воды, – актуальная задача современной сельскохозяйственной науки [9–11]. Целью настоящего исследования была экспериментальная оценка эффективности использования электролизованной воды для подавления активности и сдерживания распространения фитопатогенной микрофлоры при выращивании рассады томата во внесезонный период.

Методика. Электролизованная вода – продукт электрохимической водоподготовки, характеризующийся

активным разложением основных и сопутствующих растворенных веществ в результате электролиза с образованием ионов молекулярного водорода, гидроксильной группы, кислорода, различных перекисных и других соединений со стабильной и нестабильной химической формулой. Концентрация продуктов разложения в воде зависит от режима, а также продолжительности электролиза и определяет изменение ее реакционной способности, pH и окислительно-восстановительного потенциала, причем связь между концентрацией окисленных или восстановленных форм и окислительно-восстановительным потенциалом среды подчиняется известному уравнению Нернста. Сдвиг средовых характеристик, прошедших электрохимическую обработку водных растворов, и используют для целенаправленного воздействия на биологические объекты и системы [12-15].

Рабочей гипотезой исследований служит предположение о возможности использования электролизованной воды для создания условий, ингибирующих активность и распространение фитопатогенной микрофлоры при выращивании рассады томата. Решение конкретной задачи – разработка технологии фитооздоровления посевов при выращивании рассады томата – потребовало новых экспериментов для системной, в том числе количественной оценки эффектов, выражающихся в сдерживании распространения фитопатогенной микрофлоры при различных способах применения электролизованной воды. Исследования предусматривали закладку опыта по двухфакторной схеме. В рамках фактора А варианты опыта варьировали по величине электрохимически инициированного сдвига окислительно-восстановительного потенциала относительно необработанной (природной) оросительной воды. Использовали католиты: вариант А2 – с окислительно-восстановительным потенциалом 0 мВ (электрохимически обусловленный сдвиг окислительно-восстановительного потенциала -200 мВ), вариант А3 – -200 мВ (-400 мВ), вариант А4 – -400 мВ (-600 мВ), вариант А5 – -600 мВ (-800 мВ) и анолиты: вариант А6 – с окислительно-восстановительным потенциалом +400 мВ (электрохимически обусловленный сдвиг +200 мВ), вариант А7 – +600 мВ (+400 мВ), вариант А8 – +800 мВ (+600 мВ). В рамках фактора В варианты варьировали по способу использования электролизованной воды: вариант В1 – для дезинфекции грунта способом проливки; вариант В2 – для обработки вегетативных органов рассадных растений; вариант В3 – для дезинфекции грунта раствором микробиологического препарата Бисолбисан, приготовленным на основе электролизованной воды; вариант В4 – для дезинфекции грунта способом проливки поочередно электролизованной водой и раствором Бисолбисана.

Опыты проводили на специально оборудованных площадках с регулируемым микроклиматом в хозяйстве «Толочко Ф.Ю.» Среднеахтубинского района Волгоградской области. Технология электрохимической водоподготовки реализована на основе экспериментального диафрагменного электролизера проточного типа с реостатным регулированием электрических параметров. Для работы электролизера требуется источник постоянного тока, потребляемая мощность – не более 0,7 кВт, наибольшее напряжение в сети потребления – 70 В, наибольшая сила тока – не более 10 А. Максимальная производительность электролизера составляет 15 л/мин при продолжительности электрохимической обработки воды 22 с. Со снижением производительности время нахождения объема воды в

электролизере пропорционально возрастает. Совокупное регулирование производительности электролизера и его электрических режимов работы позволяет получить практически любой сдвиг окислительно-восстановительного потенциала воды в диапазоне от -800 до +1000 мВ. Расход электроэнергии на обработку 1 м³ воды в среднем не превышает 0,8 кВт·ч. Для обработки использовали природную, очищенную от механических примесей, оросительную воду, подаваемую на участок из р. Волга. Химический состав воды в период использования относительно стабилен, общая минерализация составляет 289-318 г/л с преобладанием катионов кальция, магния, натрия и калия и анионов двуокиси углерода, хлора, а также сульфатов. В соответствии с регламентом вариантов опыта воду применяли в течение получаса после обработки, с накоплением в полимерных резервуарах закрытого типа. Это гарантировало сохранение электрохимически инициированного сдвига окислительно-восстановительного потенциала электролизованной воды с отклонениями не более 2%.

Объектом исследований были опытные посевы рассады томата, гибрид Пинк-Парадайз. Объем учетной делянки включал 250 рассадных растений. Растения с признаками поражения фитопатогенной микрофлорой выбраковывали и удаляли при первой идентификации, их учитывали в течение всего технологического цикла. Данные по выбракованным растениям систематизировали, включали информацию о характере поражения, специфичным признакам болезней и т.д. Для исследования видового состава фитопатогенной микрофлоры отобранные образцы отправляли в лабораторию Россельхозцентра г. Волгограда.

Результаты и обсуждение. Механизм биологического действия электролизованной воды относительно сопутствующей сельскохозяйственным растениям микрофлоры заключается в создании средовых условий, благоприятствующих или неблагоприятствующих реализации их жизненных функций. При этом регулирование средовых условий, таких как pH и окислительно-восстановительный потенциал, контактных по отношению к микрофлоре веществ, осуществляли посредством применения электролизованной воды. При определенных условиях это позволяло снизить число заболевших растений, подлежащих немедленной выбраковке при производстве рассады (рис. 1-4, табл.).

Видовой состав фитопатогенной микрофлоры при выращивании рассады служит, безусловно, вариативным фактором. В годы исследований были подтверждены случаи поражения рассадных растений томата возбудителями фузариозной корневой гнили *Fusarium oxysporum* f.sp. *radicislycopersici*, септориоза *Septoria lycopersici*, возбудителями корневой и прикорневой гнили томата *Pythium debaryanum* и *Pythium ultimum*. Активизация патогенов на рассаде проявлялась комплексно; в 2018 г. не отмечено поражения растений *Pythium debaryanum*, в 2019 г. – поражения возбудителями фузариозной корневой гнили. Использование электролизованной воды для дезинфекции грунта способом проливки оказалось эффективным в обоих случаях (табл., рис. 1).

Изменение окислительно-восстановительного потенциала и pH среды позволяет добиться снижения числа пораженных болезнями рассадных растений, однако восприимчивость отдельных видов патогенов не одинакова. Например, распространение фузариозной корневой гнили (возбудитель *Fusarium oxysporum* f.sp. *radicislycopersici*) в 2018 г. наиболее эффективно сдерживалось при использовании для проливки катод-

Интегральная оценка доли (%) рассадных растений томата, выбракованных вследствие поражения фитопатогенной микрофлорой

Окислительно-восстановительный потенциал, мВ	Способ применения электролизованной воды							
	в монотехнологии				в сочетании с использованием микробиологических препаратов			
	дезинфекция грунта способом проливки		обработка вегетативных органов способом опрыскивания		использование для приготовления раствора Бисолбисана		поочередное применение с раствором Бисолбисана для дезинфекции грунта	
	2018 г.	2019 г.	2018 г.	2019 г.	2018 г.	2019 г.	2018 г.	2019 г.
Без обработки (+200)	9,2	4,4	15,2	10,0	3,6	2,4	3,6	2,4
0	8,8	4,8	16,4	10,0	4,4	2,8	3,6	2,4
-200	10,0	5,2	18,0	11,2	5,2	3,2	4,0	2,8
-400	8,0	4,4	18,0	11,2	6,4	4,0	3,6	2,0
-600	5,6	3,6	16,4	9,2	6,8	4,8	2,8	1,6
+400	10,8	4,0	15,2	3,6	2,8	1,6	3,6	1,6
+600	8,4	2,8	14,4	1,2	4,4	2,8	2,8	1,2
+800	6,0	1,6	13,2	2,0	6,4	2,8	2,0	0,8
НСР ₀₅	1,1	0,5	1,5	0,8	0,8	0,3	0,6	0,3

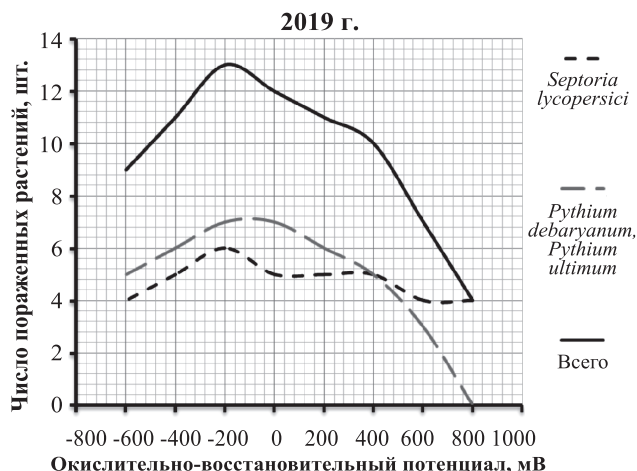
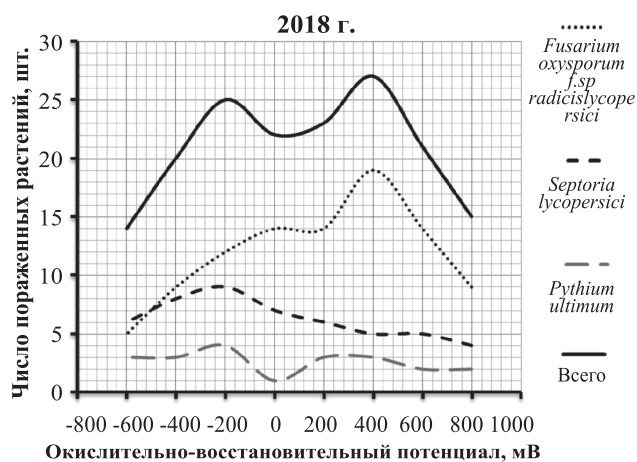


Рис. 1. Распространение фитопатогенной микрофлоры в посевах рассады томата при использовании электролизованной воды для дезинфекции грунта (250 растений).

лита с максимальным в опыте электрохимически обусловленным сдвигом редокс-потенциала – -600 мВ. При этом применение анолита с окислительно-восстановительным потенциалом +400 мВ сопровождалось существенной активизацией патогена: число пораженных фузариозной корневой гнилью растений оказалось достоверно выше, чем в контроле. Сильные анолиты с окислительно-восстановительным потенциалом +800 мВ снижали динамику распространения болезни, хотя и в меньшей степени, чем католиты.

Возбудители септориоза (*Septoria lycopersici*) и корневой гнили томата (*Pythium ultimum*) оказались более чувствительными к анолиту, причем эффективность последнего усиливалась с увеличением электрохимически обусловленного сдвига редокс-потенциала. Суммарно наименьшим числом пораженных фитопатогенной микрофлорой растений выделились варианты с проливкой почвы католитом -600 мВ или анолитом +800 мВ. Различия между этими вариантами (0,5 %) в 2018 г. оказались в пределах статистической ошибки опыта (НСР₀₅ = 1,1%). В 2019 г. растений, пораженных патогенами – возбудителями фузариоза, не отмечено, а наибольшая эффективность применения электролизованной воды для дезинфекции грунта была в вариантах с анолитом. Таким образом, видовой состав фитопатогенов существенно определяет эффективность электролизованной воды и параметры технологии ее применения для дезинфекции грунта под рассаду. При прочих равных условиях предпочтение следует отдать анолиту с редокс-потенциалом +800 мВ, обеспечившему наибольшую эффективность по сдерживанию болезней в годы исследований.

Опрыскивание вегетативной части растений провоцировало распространение фитопатогенной микрофлоры, а применение электролизованной воды таким способом неоправданно (рис. 2, табл.). При опрыскивании рассады томата природной водой доля суммарно пораженных болезнями растений возросла до 10,0-15,2%, при обработке католитом она достигла 18,4%. И лишь

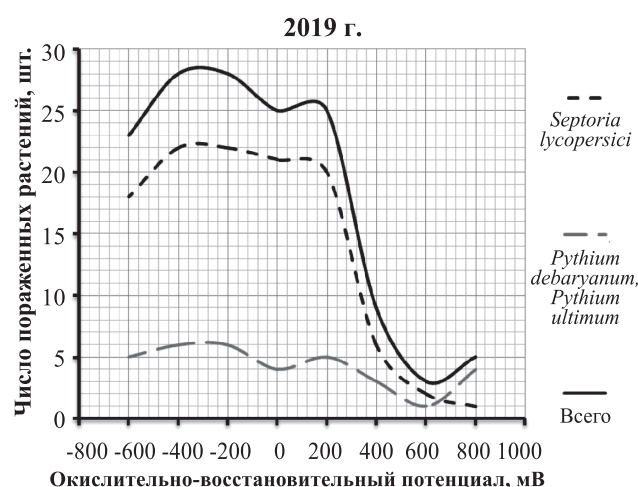
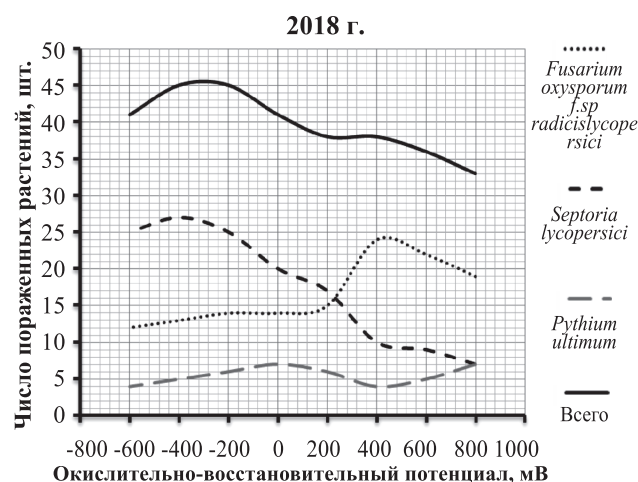


Рис. 2. Распространение фитопатогенной микрофлоры в посевах рассады томата при обработке вегетативных органов электролизованной водой (250 растений).

применение анолита с окислительно-восстановительным потенциалом +600 – +800 мВ позволило сократить суммарное число пораженных болезнями растений и только по возбудителям септориоза и корневых гнилей томата. Число растений, пораженных фузариозной корневой гнилью, при использовании анолита только возросло.

Результаты опытов с опрыскиванием рассады электролизованной водой свидетельствуют о тесной связи эффективности технологии с видовым составом патогенов, получивших распространение в посевах. Так, в 2018 г. использование сильных анолитов было предпочтительным, но эффект из-за активизации возбудителя фузариозной корневой гнили оказался крайне слабым: общее число пораженных рассадных растений снижалось с 38 в контроле до 33 при опрыскивании анолитом (+800) мВ. В 2019 г. поражения растений фузариозной корневой гнилью не было, а эффективность обработок сильными анолитами существенно возросла: число пораженных растений снизилось с 25 в контроле до 3-5 при опрыскивании анолитом с окислительно-восстановительным потенциалом +600 – +800 мВ.

Все большее распространение получают биологические способы борьбы с фитопатогенной микрофлорой в посевах. При производстве рассады одной из

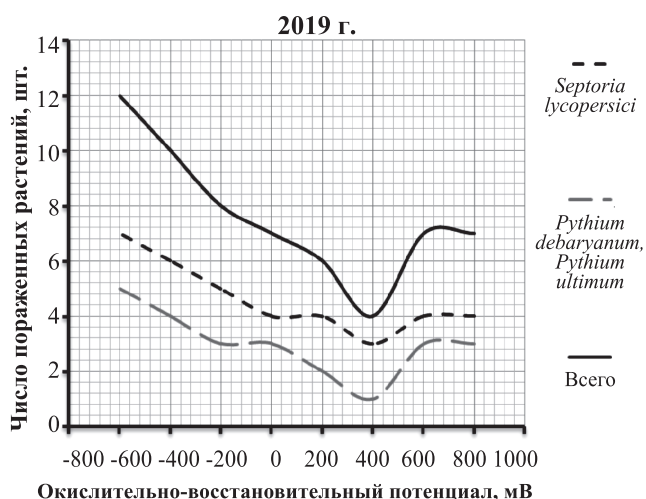
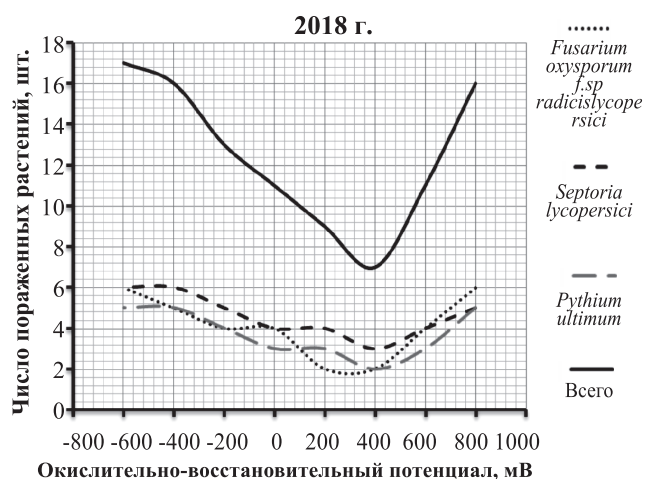


Рис. 3. Распространение фитопатогенной микрофлоры в посевах рассады томата при дезинфекции грунта раствором Бисолбисана, приготовленным на основе электролизованной воды (250 растений).

эффективных технологий была дезинфекция грунта раствором микробиологического препарата Бисолбисан. Применение электролизованной воды в комплексе с биологическими технологиями позволяет добиться приемлемых результатов без использования средств химической защиты.

Опытами апробировано два способа использования электролизованной воды в сочетании с Бисолбисаном. Первый предусматривает приготовление раствора этого препарата на основе электролизованной воды, второй – поочередное использование электролизованной воды и раствора Бисолбисана для дезинфекции грунта. Технология приготовления раствора Бисолбисана на основе электролизованной воды оказалась самой эффективной при использовании слабых, +400 мВ, анолитов (рис. 3, табл.). Снижение числа пораженных растений наблюдали по всем выявленным в опытах патогенам. Суммарная эффективность технологии характеризовалась сокращением общего количества выбракованных по причине заболевания растений с 6-9 (2,4-3,6 %) в контроле до 4-7 (1,6-2,8 %) при использовании анолита с окислительно-восстановительным потенциалом +400 мВ.

Применение анолитов с большим сдвигом окислительно-восстановительного потенциала или катодитов

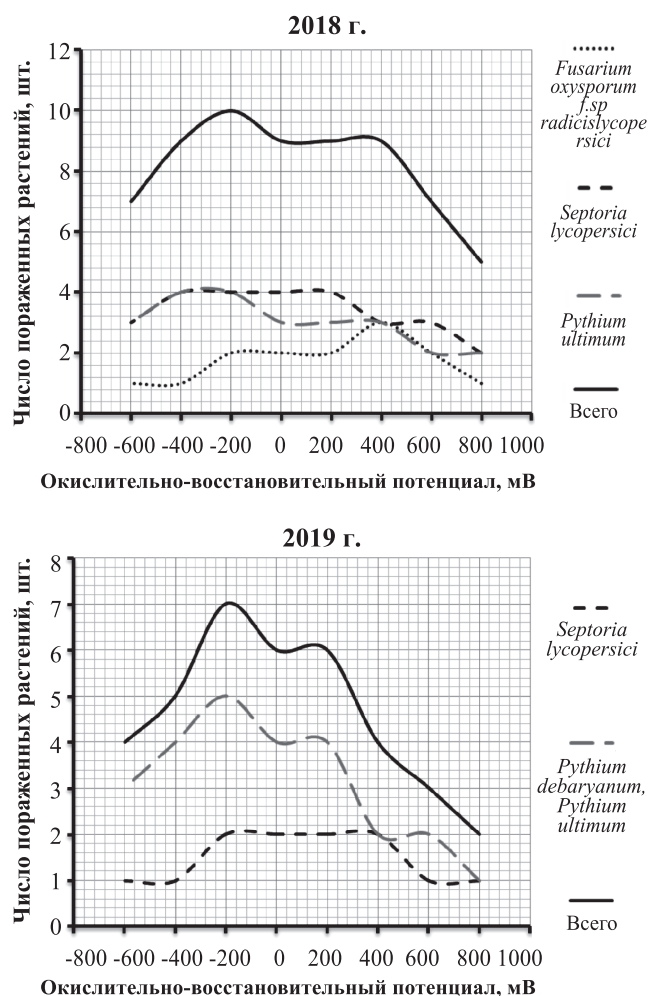


Рис. 4. Распространение фитопатогенной микрофлоры в посевах рассады томата при дезинфекции грунта электролизованной водой с последующим применением раствора Бисолбисана (250 растений)

для приготовления раствора Бисолбисана не оправдано, так как эффективность микробиологического препарата снижается, а число пораженных патогенами растений существенно возрастает. Этот эффект, по видимому, связан с воздействием электролизованной воды на активность бактерии *Bacillus subtilis*, являющейся основой препарата Бисолбисан.

Технология раздельного применения электролизованной воды и раствора Бисолбисан позволяет перейти к алгебраическому сложению эффектов, исключая фактор взаимодействия. Такой подход оказался наиболее эффективным и обеспечил максимальный выход здоровых рассадных растений томата (рис. 4, табл.). Исследованиями подтверждено существенное снижение общего фона распространения болезней при поочередном использовании электролизованной воды с микробиологическим препаратом Бисолбисан. Из 250 рассадных растений болезнями поражалось не более 7-10, тогда как в вариантах без Бисолбисана число выбракованных растений достигало 13-27 шт. В свою очередь использование электролизованной воды позволило более чем в 1,5 раза снизить число пораженных растений в сравнении с вариантами, где для дезинфекции грунта применяли только раствор Бисолбисана.

Оптимизация параметров технологии поочередного использования электролизованной воды и раствора микробиологического препарата Бисолбисан обеспечило возможность сдерживания распространения фитопатогенной микрофлоры в посевах рассады томата на уровне 0,8-2,0 %. Наибольший эффект отмечен при применении воды с электрохимически инициированным сдвигом редокс-потенциала +800 мВ. Для подавления активности возбудителя фузариозной корневой гнили эффективным оказалось также применение католита с редокс-потенциалом -400 – -600 мВ, однако при этом существенно возрастало число растений, пораженных септориозом (*Septoria lycopersici*) и патогенами корневой гнили томата (*Pythium debaryanum*, *Pythium ultimum*), как и общее количество выбракованных растений. Продолжительность периода 1 сут между дезинфекцией грунта электролизованной водой и раствором препарата Бисолбисан оказалась достаточной для исключения взаимного влияния.

Таким образом, применение электролизованной воды обеспечивает эффективное подавление активности возбудителей фузариозной корневой гнили (*Fusarium oxysporum* f.sp. *radicislycopersici*), септориоза (*Septoria lycopersici*), корневых гнилей томата (*Pythium debaryanum*, *Pythium ultimum*), улучшает фитосанитарное состояние посевов и выход оптимально сформированных растений при выращивании рассады томата. Параметры водоподготовки определяются видовым составом фитопатогенной микрофлоры и зависят от способа применения электролизованной воды. При использовании электролизованной воды как монотехнологии по сдерживанию распространения фитопатогенной микрофлоры для дезинфекции грунта способом проливки наиболее эффективен анолит с редокс-потенциалом +800 мВ: число пораженных растений снизилось на 34,8-63,6%. Лучшие результаты получены при комплексном применении электролизованной воды (анолит, +800 мВ) и микробиологического препарата Бисолбисан для дезинфекции грунта при организации поочередной схемы проливок с интервалом 1 сут. При этом доля выбракованных вследствие поражения болезнями рассадных растений томата не превышала 0,8-2,0%.

Литература

1. Демиденко Г.А. Агроэкологическая оценка использования специализированных почвогрунтов для выращивания рассады томатов // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2017. – № 4 (127). – С. 11-17.
2. Соромотина Т.В. Влияние возраста рассады и густоты посадки на урожайность детерминантного томата // Пермский аграрный вестник. – 2017. – № 2 (18). – С. 71-76.
3. Абакумова А.С., Зимица Ж.А., Арсланова Р.А., Курманалиева Р.И. Агротехнология выращивания индетерминантных томатов в фитотронно-тепличном комплексе // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2014. – № 1 (1). – С. 18-21.
4. Паластрова О.А. Болезни томата и обоснование мер борьбы с ними в условиях Курганской области // Вестник Курганской ГСХА. – 2018. – № 4 (28). – С. 22-29.
5. Игнатов А.Н., Челидзе Г.Г., Воробьева К.С. Риски распространения в РФ новых вирусных и бактериальных болезней овощных культур через предпри-

- ятия защищенного грунта // Картофель и овощи. – 2019. – № 4. – С. 18-21.
6. Байрамбеков Ш.Б., Корнева О.Г., Полякова Е.В. Основные болезни овощебахчевых культур в Нижнем Поволжье // Защита и карантин растений. – 2013. – № 8. – С. 46-49.
7. Antonenko A.M., Vavrinevych O.P., Korshun M.M., Omelchuk S.T. Hygienic assessment of the effects of pesticides application on adult population morbidity with thyroid gland diseases // *Wiadomosci Lekarskie*. – 2018. – V. 71. – N 2. – P. 353-357.
8. Grech A., Brochot C., Bois F.Y., Beaudouin R., Quignot N., Dorne J.-L. Toxicokinetic models and related tools in environmental risk assessment of chemicals // *The Science of the Total Environment*. – 2017. – V. 578. – P. 1-15 DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.10.146
9. Коробейникова О.В. Фитоспорин-М на томате // Картофель и овощи. – 2016. – № 6. – С. 16-17.
10. Matyjaszczyk E. Plant protection means used in organic farming throughout the European Union // *Pest Management Science*. – 2018. – V. 74. – N 3. – P. 505-510 DOI: 10.1002/ps.4789
11. Семенов С.Я., Белицкая М.Н., Лихолетов С.М. Фитосанитарное оздоровление зерновых и овощных культур с помощью электрохимически активированной воды // *Успехи современного естествознания*. – 2013. – № 1. – С. 78-82.
12. Чушкина Е.И., Семенов С.Я., Лытов М.Н., Чушкин А.Н. Механизм биологического действия и опыт применения электрохимически активированных водных сред в сельском хозяйстве // *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации*. – 2015. – № 4 (20). – С. 170-185.
13. Al-Qadiri H.M., Smith S., Sielaff A.C., Govindan B.N., Ziyaina M., Al-Alami N., Rasco B. Bactericidal activity of neutral electrolyzed water against *Bacillus cereus* and *Clostridium perfringens* in cell suspensions and artificially inoculated onto the surface of selected fresh produce and polypropylene cutting boards // *Food control*. – 2019. – V. 96. – P. 212-218; DOI: 10.1016/j.foodcont.2018.09.019.
14. Feliziani E., Lichter A., Smilanick J.L., Ippolito A. Disinfecting agents for controlling fruit and vegetable diseases after harvest // *Postharvest biology and technology*. – 2016. – V. 122. – P. 53-69 DOI: 10.1016/j.postharvbio.2016.04.016.
15. Pinto L., Baruzzi F., Ippolito A. Recent advances to control spoilage microorganisms in washing water of fruits and vegetables: the use of electrolyzed water // *III international symposium on postharvest pathology: using science to increase food availability* // *Acta Horticulturae*. – 2016. – V. 1144. – P. 379-384 DOI: 10.17660/ActaHortic.2016.1141.72.

Поступила в редакцию 14.11.19

После доработки 17.12.19

Принята к публикации 20.12.19

Агрохимия. Почвоведение

УДК 631.8.

DOI:10.31857/S2500-2627-2020-2-36-38

ВЛИЯНИЕ ФОСФОРНЫХ УДОБРЕНИЙ НА МИКОРИЗАЦИЮ КОРНЕЙ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ

З.М. Курамшина¹, Р.М. Хайруллин², доктора биологических наук,
Л.Р. Насретдинова¹

¹Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета,
453103, Стерлитамак, пр. Ленина, 49
E-mail: kuramshina_zilya@mail.ru

²Институт биохимии и генетики Уфимского федерального исследовательского центра РАН,
454054, Уфа, пр. Октября, 71
E-mail: krm62a@mail.ru

Исследовано влияние органо-минерального удобрения Гуми-Оми-Фосфор и минерального удобрения суперфосфата на биомассу корней и формирование арбускулярной микоризы. Показано, что применение удобрений увеличивало массу корней всех исследованных растений (Pisum sativum L., Avena sativa L., Triticum aestivum L.). Установлено, что при внесении в почву суперфосфата интенсивность колонизации корневой системы микоризой уменьшалась, а под действием Гуми-Оми-Фосфора увеличивалась по сравнению с контрольными растениями на удобренной почве. Сделан вывод о том, что снижение интенсивности микоризации под влиянием суперфосфата, вероятно, происходит из-за наличия в почве легкодоступного фосфора в большем количестве. Вместе с тем препарат Гуми-Оми-Фосфор мог индуцировать рост гиф микоризных грибов в почве и стимулировать обоих партнеров к формированию арбускулярного микоризного симбиоза.

EFFECT OF PHOSPHORIC FERTILIZERS ON MICROIZATION OF PLANTS ROOTS

Kuramshina Z.M.¹, Khairullin R.M.², Nasretdinova L.R.¹

¹Sterlitamak branch of Bashkir state University,
453100, Sterlitamak, pr. Lenina, 49
E-mail: kuramshina_zilya@mail.ru

²Institute of biochemistry and genetics of the Ufa Federal research center RAS,
2450054, Ufa, prospect Oktyabrya, 71

We studied the effect of the organic fertilizer "Gumi-Omi-Phosphorus" and the mineral fertilizer superphosphate on the biomass of roots and the formation of arbuscular mycorrhiza. The mass of roots increased in all studied plants when using fertilizers (Pisum sativum L., Avena sativa L., Triticum aestivum L.). The intensity of colonization decreased when superphosphate was introduced into the soil, and under the effect of Gumi-Omi-Phosphorus, the intensity increased in comparison with the control plants growing on unsuitable soil. It was concluded that the intensity of mycorrhization fell under the influence of superphosphate, probably due to the presence of readily available phosphorus in greater quantities in the soil. However, the drug «Gumi-Omi-Phosphorus» could induce the growth of hyphae of mycorrhizal fungi in the soil and stimulate both partners to form arbuscular mycorrhizal symbiosis.

Ключевые слова: яровая мягкая пшеница, овес посевной, горох посевной, фосфорные удобрения, рост, везикулярно-арбускулярная микориза

Key words: wheat, oats, peas, phosphate fertilizers, growth, vesicular-arbuscular mycorrhiza

Арбускулярные грибы, формирующие везикулярно-арбускулярную микоризу (ВАМ), имеют широкий круг растений-хозяев, что свидетельствует об отсутствии специфичности взаимоотношений между хозяином и грибом. Арбускулярный микоризный симбиоз взаимовыгоден, так как микоризные грибы обеспечивают растения водой, минеральными веществами (в основном фосфором) и способны защищать их от фитопатогенов, а растения взамен поставляют микроорганизмам соединения, синтезируемые при фотосинтезе [1].

Использование минеральных удобрений и пестицидов – главный фактор успешного растениеводства, однако действие их на растения полностью не изучено, в том числе и на формирование микоризы. Применение агрохимикатов может привести к изменению микрофлоры почвы [2], оказать негативное действие на арбускулярные грибы [3]. Например, внесение в почву азотно-фосфорного удобрения (азофоска) уменьшает интенсивность микоризации корней овса и ячменя на 35-39% [4]. Малые дозы удобрений могут стимулиро-

вать образование микоризы, а большие – ингибировать этот процесс [5, 6].

В последнее время наблюдается рост объемов применения комплексных органо-минеральных удобрений. С одной стороны, наличие органического компонента должно нивелировать отрицательное действие таких удобрений на микоризу, с другой – присутствие минеральной части может подавить формирование ВАМ.

Целью настоящей работы было изучение влияния минерального фосфорного удобрения (суперфосфат) и фосфатного органо-минерального удобрения Гуми-Оми-Фосфор на рост растений и формирование ВАМ в корнях культурных растений.

Методика. Объектами исследования служили горох посевной (*Pisum sativum* L., сорт Чишминский 95), овес посевной (*Avena sativa* L., сорт Конкур), яровая мягкая пшеница (*Triticum aestivum* L., сорт Омская 35). Использовали следующие виды удобрений: суперфосфат (предприятие «Пермагробизнес») – гранулирован-

ное фосфорное удобрение, содержащее 26% водорастворимого фосфора и Гуми-Оми-Фосфор (предприятие «БашИнком») – микробиологически ферментированное органическое удобрение + фосфорное удобрение + ГУМИ, содержащее 25% фосфора и микроэлементы: Mn, Ca, Mg, Fe, Cu, B, Zn, Co, Mo и др. [7].

В контрольных вариантах семена высевали в почву без внесения удобрений. В опытных вариантах перед посевом на поверхность почвы вносили удобрения нормой 46,6 г/м² суперфосфата и 40 г/м² Гуми-Оми-Фосфора. Почву (выщелоченный чернозем) слоем 10-15 см перемешивали с удобрением. Нестерилизованные семена в количестве 150 шт. высевали вручную на делянки площадью 80×80 см в 3-кратной повторности. Глубина посева пшеницы и овса составляла 4-5 см, гороха – 7-8 см. Варианты располагали рендомизированно. В фазе начала созревания растения вместе с корневой системой осторожно вынимали из почвы. Корневую систему отделяли, промывали в проточной воде, избыток поверхностной влаги удаляли фильтровальной бумагой и взвешивали. Корни затем отделяли и проводили гистохимический анализ и количественный учет ВАМ по методу Травло [8]. Для этого корни осветляли в растворе 10%-ного КОН, затем промывали 2%-ным раствором HCl и окрашивали трипановым синим [9].

При определении степени колонизации микоризы использовали стандартную технику световой микроскопии окрашенных корней. В каждом варианте было три повторения биоматериала. Показатели микоризации определяли у растений в каждом повторении, затем выводили среднее значение трех повторов. В таблицах данные представлены в виде среднего арифметического значения повторов и стандартного отклонения. Для выявления значимых различий между контрольными и опытными растениями использовали t-критерий Стьюдента. Различия между контрольными и опытными вариантами оценивали как достоверные при уровне значимости $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение. Частота микоризации корневой системы под влиянием удобрений у всех изучаемых сельскохозяйственных растений увеличилась. Гуми-Оми-Фосфор и суперфосфат способствовали повышению частоты микоризации яровой мягкой пшеницы на 44,3 и 29,5%, овса посевного – на 10,1 и 2,9% и гороха посевного – на 10,7 и 9,9%, соответственно (табл. 1). Показатели интенсивности колонизации корневой системы микоризой (М%) и колонизации корневого фрагмента микоризой (m%) под влиянием Гуми-Оми-Фосфора увеличивались, а под влиянием суперфосфата уменьшались. Так, у растений пшеницы на почве с удобрением Гуми-Оми-Фосфор интенсивность колонизации корневой системы (М%) возросла в 2,5 раза, у овса практически не изменилась, у гороха увеличилась в 1,7 раза по сравнению с контрольными растениями. Под влиянием суперфосфата величина этого показателя была меньше у растений пшеницы на 19,4%, овса – в 5 раз, гороха – в 1,8 раза, чем у контрольных. У растений пшеницы в почве с удобрением Гуми-Оми-Фосфор интенсивность колонизации микоризой корневого фрагмента повысилась в 1,6 раза, у гороха – на 61,7%, у овса достоверно не отличалась от контрольных растений. Под влиянием суперфосфата она снизилась у растений пшеницы и гороха в 1,6 раза, у овса – в 4,4 раза по сравнению с показателями у контрольных растений.

Все исследованные препараты включены в соответствующий «Государственный каталог...» и разрешены к применению [7]. Их использование в большинстве

Табл. 1. Показатели микоризации (данные анализа 100 растений)

Вариант	Пшеница	Овес	Горох
Частота микоризации корневой системы, F%			
Контроль	56,6±2,4	75,0±6,9	80,8±6,4
Гуми-Оми-Фосфор	81,7±1,6*	82,6±1,6*	89,5±1,6
Суперфосфат	73,3±6,5*	72,8±6,8	88,8±6,5
Интенсивность колонизации корневой системы микоризой, М%			
Контроль	7,2±2,1	13,7±3,6	10,11±1,5
Гуми-Оми-Фосфор	18,0±1,3*	14,0±1,3	18,0±1,4*
Суперфосфат	5,8±2,7	2,6±1,3*	5,6±2,1*
Интенсивность колонизации корневого фрагмента микоризой, m%			
Контроль	12,9±3,9	17,8±3,5	12,3±0,9
Гуми-Оми-Фосфор	21,4±1,8*	16,7±1,3	19,9±1,4*
Суперфосфат	7,7±3,8*	4,0±1,8*	7,4±3,2

* Различия с контролем достоверны при $P \leq 0,05$.

случаев способствует повышению продуктивности растений, в связи с чем дополнительных исследований по влиянию этих удобрений на урожайность культур не проводили. Однако мы изучали влияние удобрений на биомассу корневой системы как органа непосредственного заражения микоризой. Анализ этих измерений показал, что внесение обоих удобрений в почву приводило к увеличению массы сырых корней: у пшеницы – на 30 и 10%, у овса – на 42 и 34,7%, у гороха – на 60 и 48% соответственно по сравнению с контрольными растениями (табл. 2). При этом возрастала и масса растений, особенно при применении Гуми-Оми-Фосфора.

Дефицит минеральных веществ в почве влияет не только на рост и развитие растений, он уменьшает образование семян и неизменно задерживает созревание зерновых культур [10-12]. Наиболее отзывчивой культурой на применение удобрений оказался горох посевной, в меньшей степени – овес посевной. Как известно, для бобовых фосфор особенно необходим для нормального роста, в частности для функционирования клубеньковых бактерий [12]. Большая часть этого минерального элемента поступает с удобрениями, так как доступность из других источников слишком мала

Табл. 2. Масса корней растений при внесении удобрений (данные анализа 100 растений)

Вариант	Пшеница	Овес	Горох
Контроль	7,0±0,1	6,9±0,1	14,8±0,1
Гуми-Оми-Фосфор	9,2±0,2*	9,8±0,3*	23,7±0,3*
Суперфосфат	7,7±0,2	9,3±0,2*	21,9±0,1*

* Различия с контролем достоверны при $P \leq 0,05$.

[12]. Несмотря на то, что в каждом изучаемом удобрении содержится фосфор, их состав сильно различается. Непосредственно после внесения комплексного органо-минерального удобрения Гуми-Оми-Фосфор растения потребляют его минеральный компонент, по мере использования которого в почве минерализуется органический компонент (гуматы), который также начинает питать растение.

Суперфосфат относится к простым минеральным фосфорным удобрениям. Известно, что при хорошем фосфорном питании растения слабо формируют микоризу [13, 14]. Это объясняется тем, что в корневых экссудатах у растений при различном уровне фосфорного питания состав фенольных соединений, служащих сигнальными молекулами для активации прорастания ростковых трубок микоризных грибов, различается, что и определяет степень колонизации растения грибом [13]. Не исключено также, что фенольные соединения, могли имитировать растительные сигналы и стимулировать в почве рост гиф микоризообразующих грибов. Увеличение интенсивности микоризации корневой системы растений под влиянием комплексного гуминового удобрения привело, вероятно, к более интенсивному росту растительной биомассы вследствие лучшей обеспеченности растений элементами питания за счет симбиоза с грибом. При наличии высокого уровня фосфора в почве вследствие внесения суперфосфата интенсивность формирования ВАМ была меньше, чем при использовании комплексного удобрения. В этом случае обеспеченность растений элементами минерального питания за счет микоризообразующих грибов могла быть хуже, что, возможно, и привело к меньшему накоплению биомассы.

Сравнительный анализ влияния двух видов удобрений на рост растений выявил, что при внесении в почву более концентрированного суперфосфата интенсивность микоризации корней уменьшается по сравнению с менее концентрированным удобрением Гуми-Оми-Фосфор, в то время как растения на почве с гуминовым препаратом, содержащим меньшее количество фосфора, накапливают большую массу. По нашему мнению, увеличение биомассы связано с возросшей интенсивностью формирования ВАМ растениями под влиянием гуминового удобрения, которое в свою очередь способствует большему поступлению в макроорганизм элементов минерального питания через корневую систему [13, 14].

Литература

1. Aminifar J., Sirousmehr A. Arbuscular Mycorrhizal fungi community, nutrient availability and soil glomalin in organic farming // *International Journal of Farming and Allied Sciences*. – 2014. – V. 3. – № 1. – P. 1-6.
2. Бетехтина А.А., Веселкин Д.В. Распространенность и интенсивность микоризообразования у травянистых растений Среднего Урала с разными типами экологических стратегий // *Экология*. – 2011. – № 3. – С. 176-183.
3. Кураמיшина З.М., Хайруллин Р.М., Андреева И.Г. Влияние протравителей семян на микоризацию корней культурных растений // *Агрохимия*. – 2014. – № 1. – С. 71-74.
4. Бетехтина А.А. Эндомикориза травянистых растений: распространенность и экологическое значение: автореф. дисс. ... канд. биол. наук. 03.00.16, 03.00.05. – Екатеринбург: УГУ, 2006. – 24 с.
5. Bonfante P., Genre A. Mechanisms underlying beneficial plant-fungus interactions in mycorrhizal symbiosis // *Nat Commun*. – 2010. – V.1 (48). – P. 1-11.
6. Кирпичников Н.А., Завалин А.А., Волков А.А., Чернышкова Л.Б., Юрков А.П., Якоби Л.М., Кожемяков А.П. Эффективность фосфорных удобрений на периодически известкуемой почве при обработке семян ячменя и клевера биопрепаратами // *Агрохимия*. – 2012. – №11. – С. 16-27.
7. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации, и дополнения к нему. – М.: Минсельхоз России, 2017. – 938 с.
8. Trouvelot A., Kough, N., Gianinazzi-Pearson V. Mesure du taux de mycorhization VA d'un système racinaire. Recherche de méthodes d'estimation ayant une signification fonctionnelle // *Physiological and Genetical Aspects of Mycorrhizae* / Eds.V. Gianinazzi-Pearson, Gianinazzi S. Paris: INRA Press, 1986. – P. 217-221.
9. Phillips J.M., Hayman D.S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection // *Transact. British Mycor. Soc.* – 1970. – V. 55. – P. 158-161
10. Arae M., Mojaddam M. The effect of different levels of phosphorus from triple super phosphate chemical fertilizers and biological phosphate fertilizer (fertile 2) on physiological growth parameters of corn (sc 704) in ahvas weather conditions // *The effect of different levels of phosphorus from triple super phosphate chemical fertilizers and biological phosphate fertilizer (fertile 2) on physiological growth parameters of corn (sc 704) in ahvas weather conditions* // *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences*. – 2014. – V. 4. – P. 625-632.
11. Keykha A., Ganjali H., Mobasser H. Effect of phosphate fertilizer under different levels of nitrogen and phosphorus fertilization on plant height, secondary branches and other attributes Hibiscus tea // *International Journal of Farming and Allied Sciences*. – 2014. – V.3 (1). – P. 87- 90.
12. Schachtman D.P., Reid R. J., Ayling S.M. Phosphorus uptake by plants: from soil to cell // *Plant Physiol.* – 1998. – V. 116(2). – P. 447-453.
13. Jin H.R., Liu J., Liu J., Huang, X.W. Forms of nitrogen uptake, translocation, and transfer via arbuscular mycorrhizal fungi: a review // *Sci. China Life Sci.* – 2002. – V. 55 (6). – P. 474-482.
14. Garcia K., Zimmermann S.D. The role of mycorrhizal associations in plant potassium nutrition // *Front. Plant Sci.* – 2014. – V.5 –doi.org/10.3389/fpls.2014.00337.

Поступила в редакцию 19.02.19

После доработки 25.03.19

Принята к публикации 03.04.19

ПРОДУКТИВНОСТЬ ПОДСОЛНЕЧНИКА НА ЧЕРНОЗЕМАХ ВЫЩЕЛОЧЕННЫХ В ДЛИТЕЛЬНОМ ОПЫТЕ С УДОБРЕНИЯМИ

А.Ф. Стулин¹, кандидат сельскохозяйственных наук,
Л.Д. Стахурлова², кандидат биологических наук

¹Воронежский филиал Всероссийского научно-исследовательского института кукурузы,
396812, Воронежская область, Хохольский район, ул. Чаянова, 13
E-mail: opytное@vmail.ru

²Воронежский государственный университет,
394006, Воронеж, Университетская пл., 1
E-mail: stakhurlova@rambler.ru

В течение 5 ротаций 10-польного севооборота в стационарном полевом опыте исследовано влияние ежегодного применения удобрений на урожайность и качество семян подсолнечника (*Helianthus annuus* L.). Изучали динамику питательного режима в слоях почвы 0-25 и 25-40 см в течение вегетации растений. Показано, что оптимальной дозой удобрений под подсолнечник следует считать $N_{60}P_{60}K_{60}$, которая обеспечивает прирост урожайности на 0,4-0,7 т/га, при этом сбор масла увеличивается на 25% по сравнению с фоном без удобрений (0,8 т/га). Хозяйственный вынос от биологического (с учетом корневой системы на естественном фоне) составил по азоту 50%, фосфору – 54% и калию – 12% и был практически одинаковым на фоне $N_{60}P_{60}K_{60}$ – соответственно 48, 51 и 9%. Изменение соотношения азота, фосфора и калия в полном удобрении не влияло на сбор масла. Внесение отдельно фосфорных и калийных удобрений было неэффективным. Сделан вывод о том, что увеличение дозы удобрений экономически нецелесообразно.

SUNFLOWER PRODUCTIVITY ON LEACHED CHERNOZEMS IN LONG-TERM EXPERIENCE WITH FERTILIZERS

Stulin A.F.¹, Stakhurlova L.D.²

¹Voronezh branch of all-Russian research Institute of maize,
Voronezhskaya oblast, Khokholskiy rayon, ul. Chayanova, 13
E-mail: opytное@vmail.ru

²Voronezh state University, 394006, Voronezh, Universitetskaya pl. 1
E-mail: stakhurlova@rambler.ru

During 5 rotations of ten-field rotation in stationary field experiment the influence of annual application of fertilizers on productivity and quality of sunflower seeds (*Helianthus annuus* L.) was studied. The dynamics of the nutrient regime in the soil layers of 0-25 and 25-40 cm during the vegetation period was studied. It is shown that the optimal dose of fertilizers for sunflower should be considered $N_{60}P_{60}K_{60}$, which provides an increase in yield by 0.4-0.7 t/ha, while the oil collection increases by 25% compared to the non-porous background (0.8 t/ha). Economic takeaway from biological, taking into account the root system on a natural background, was 50 % nitrogen, 54 % phosphorus and 12 % potassium and was almost the same against the background of $N_{60}P_{60}K_{60}$ respectively, the elements: 48%, 51% and 9%. The change in the ratio of nitrogen, phosphorus and potassium in the complete fertilizer did not effect the oil collection. Application of phosphorus and potassium fertilizers separately was inefficient. Increasing the dose of fertilizers is not economically feasible.

Ключевые слова: чернозем выщелоченный, длительный опыт, удобрения, элементы питания растений, подсолнечник, урожайность, качество семян

Key words: leached chernozem, long-term experience, fertilizers, sunflower, nutrients, yield, seed quality

Подсолнечник (*Helianthus annuus* L.) на протяжении долгого времени служит ведущей масличной культурой в Российской Федерации. Основные районы его возделывания расположены в Центрально-Черноземной зоне, Поволжье, Сибири, на Северном Кавказе [1]. За последние 6 лет посевные площади культуры превысили 7,5 млн га с варьированием по годам от 6,9 млн в 2014 г. до 8,2 млн га в 2018 г. Наша страна производит 20,3% от общего мирового сбора семян [2], при этом на долю подсолнечника приходится 82% [3]. Его высокая рентабельность обусловлена возрастающим спросом на продукцию переработки маслосемян. К эффективному средству повышения продуктивности подсолнечника относятся удобрения, однако многолетних данных, полученных в стационарных опытах, о влиянии систематического их внесения в севообороте на урожайность и качество семян этой культуры недостаточно.

Целью настоящей работы было исследование влияния длительного систематического применения минеральных удобрений на агрохимические показатели почвы в посевах подсолнечника в течение его вегета-

ции, урожайность и качество семян подсолнечника за 5 ротаций 10-польного севооборота, вынос элементов питания и возврат их в почву с корневыми остатками в агроэкологических условиях Центрального Черноземья.

Методика. Длительные стационарные полевые опыты заложены в 1960 г. и включены в реестр «Географической сети опытов с удобрениями» (ВНИИ кукурузы) с координатами 51°36'28,8"СШ и 38°58'9.54"ВД. Опыт представлен тремя полями севооборота и одним полем с бессменным посевом кукурузы. Севооборот в опыте 10-польный (50% зерновые, 20% – технические и 30% кормовые культуры): вико-овсянная смесь на сено, озимая пшеница, сахарная свекла, кукуруза на силос, озимая пшеница, кукуруза на зерно, вико-овсянная смесь на сено, озимая пшеница, подсолнечник, ячмень.

Минеральные удобрения вносят ежегодно осенью под вспашку в виде аммиачной селитры (N_{aq}), гранулированного суперфосфата (P_{cr}) и калийной соли (K_x). Посевная площадь делянки составляет 269,5 м², учетная – 192,5 м². Высевают районированные сорта

Табл. 1. Питательный режим почвы под подсолнечником при длительном внесении удобрений, мг/кг (среднее за 3 года)

Вариант	Всходы				Образование корзинок				Полная спелость			
	N-NO ₃	НСП	P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NO ₃	НСП	P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NO ₃	НСП	P ₂ O ₅	K ₂ O
Без удобрений	7,0	13,9	44	119	2,8	15,0	42	119	1,2	16,5	36	112
	5,9	9,8	38	115	3,8	10,4	35	110	0,9	15,1	33	115
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	7,9	14,8	83	156	3,7	13,9	102	137	1,4	18,1	87	145
	8,1	10,3	66	127	3,9	10,3	62	116	1,3	14,4	58	124
N ₆₀ P ₁₂₀ K ₆₀	10,1	16,6	128	144	3,4	13,9	150	143	1,4	17,4	145	145
	9,7	9,9	90	128	3,9	10,8	105	117	1,2	13,6	87	126
N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀	5,5	16,7	98	184	3,1	14,1	119	165	1,8	18,4	109	196
	7,3	4,1	78	148	3,4	11,6	78	125	1,4	13,3	71	136
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	8,6	13,9	84	156	5,9	12,3	99	139	1,6	17,6	85	140
	10,7	8,8	67	127	4,9	10,9	59	116	3,4	10,3	56	122

Примечание. Верхняя строка – в слое 0-25 см, нижняя – в слое 25-40 см; НСП – нитрифицирующая способность почвы.

культур, согласно принятым в зоне агротехническим требованиям. В I ротации севооборота высевали сорт подсолнечника Воронежский 272, во II и III – Воронежский 436, в IV–V – Воронежский 638. Урожай учитывают методом сплошного взвешивания.

Почва – чернозем выщелоченный малогумусный среднесильно-тяжелосуглинистый, на покровной карбонатной глине, согласно классификации почв 2004 г. – агрочернозем глинисто-иллювиальный [4]. На момент закладки стационарного опыта в пахотном слое почвы содержалось гумуса 5,6%, общего азота – 0,24%, фосфора – 0,15%, калия – 2,0%, рН_{вод.} 6,6 ед., сумма поглощенных оснований – более 38 ммоль(+)/100 г почвы, степень насыщенности основаниями – выше 90% [5]. Почвенные образцы в посевах подсолнечника отбирали в три срока (всходы, образование корзинок, полная спелость) с помощью бура с глубины 0-25 и 25-40 см в 5 точках учетной площади из следующих вариантов: без удобрений, N₆₀P₆₀K₆₀, N₆₀P₁₂₀K₆₀, N₆₀P₆₀K₁₂₀, N₁₂₀P₆₀K₆₀.

Количество корневых остатков и их химический состав определяли в слоях почвы 0-20, 20-40 и 40-60 см перед уборкой урожая рамочным методом (70х70 см) Н.З. Станкова [6] с последующей промывкой на ситах диаметром отверстий 1 мм. Пробы отбирали в 4-кратной повторности (по 2 пробы из 2 повторений). в растительных образцах – содержание общего азота по Кьельдалю, фосфора – фотометрическим методом, калия – на пламенном фотометре [7]. Показатели почвенного плодородия оценивали общепринятыми методами [8]. Статистическая обработка данных проведена методом дисперсионного анализа [9] с использованием программы MS Excel 2007.

Результаты и обсуждение. Содержание подвижных форм питательных веществ в почве под посевами подсолнечника снижалось на протяжении всей вегетации (табл. 1). Такая же закономерность выявлена на черноземах южных [10]. Максимальное количество N-NO₃ было в пахотном и подпахотном слоях почвы в период всходов, то есть в период наибольшей биологической активности почвы и незначительного потребления азота растениями. К фазе образования корзинок его содержание в почве всех вариантов снижалось.

Табл. 2. Урожайность семян подсолнечника (т/га) при длительном внесении удобрений

Вариант	Средняя урожайность из 3 полей за 5 ротаций	Прибавка		Диапазон изменчивости урожайности по годам
		т/га	%	
Без удобрений	1,53	-	-	0,95-2,02
N ₆₀	1,78	0,25	16,3	1,04-2,32
P ₆₀	1,61	0,08	5,2	1,09-2,30
K ₆₀	1,58	0,05	3,3	0,85-2,17
N ₆₀ P ₆₀	1,93	0,40	26,1	1,12-2,55
N ₆₀ K ₆₀	1,80	0,27	17,6	1,04-2,37
P ₆₀ K ₆₀	1,67	0,14	9,2	1,11-2,31
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	2,04	0,51	33,3	1,35-2,67
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	1,97	0,44	28,8	1,28-2,65
N ₆₀ P ₁₂₀ K ₆₀	1,98	0,45	29,4	1,24-2,73
N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀	1,95	0,42	27,5	1,07-2,63
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	2,05	0,52	34,0	1,20-2,76
НСП ₀₅	0,16			

Установлена высокая потенциальная нитрифицирующая способность черноземов выщелоченных, что подтверждается результатами определения нитрифицирующей способности почвы

Содержание N-NO₃ в толще почвы 0-300 см определяли в период посева и полной спелости подсолнечника в трех вариантах: без удобрений, N₆₀P₆₀K₆₀, N₁₂₀P₆₀K₆₀. При посеве величина этого показателя в слое почвы 0-20 см по вариантам составило 1,7; 1,8 и 3,3 мг/кг, в слое 100-120 см – соответственно 0,3; 2,4 и

Табл. 3. Качество семян подсолнечника при длительном внесении удобрений (среднее за 5 ротаций)

Вариант	Содержание жира в ядре, %	lim	Сбор масла, т/га	lim	Масса 1000 семян, г.	Лузжистость, %
Контроль	64,0	60,1-66,6	0,8	0,4-1,1	64	20,4
N ₆₀	62,6	58,4-65,2	0,9	0,5-1,2	67	19,9
P ₆₀	64,4	61,7-66,3	0,8	0,5-1,1	64	20,4
K ₆₀	63,7	60,9-66,7	0,8	0,4-1,1	64	20,4
N ₆₀ P ₆₀	63,7	62,4-66,0	1,0	0,6-1,3	67	20,5
N ₆₀ K ₆₀	63,3	60,0-65,5	0,9	0,5-1,2	68	20,5
P ₆₀ K ₆₀	64,6	62,3-66,8	0,8	0,6-1,1	65	21,2
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	63,9	61,5-65,9	1,0	0,7-1,4	70	20,6
N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	63,9	61,2-65,7	1,0	0,6-1,3	69	20,4
N ₆₀ P ₁₂₀ K ₆₀	64,0	61,6-66,4	1,0	0,6-1,3	68	20,7
N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀	63,5	61,1-66,1	1,0	0,5-1,3	68	20,7
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	62,2	60,1-63,6	1,0	0,6-1,3	70	20,4

3,5 мг/кг, в слое 280-300 см – 0,4; 0,9 и 2,8 мг/кг. В фазе полной спелости в слое 0-20 см оно было практически одинаковым во всех вариантах – 2,1; 2,0 и 2,3 мг/кг, тогда как в слое 100-120 см – 0,3; 0,7 и 7,0 мг/кг, 280-300 см – 0,3; 0,4 и 2,7 мг/кг соответственно.

Нисходящую миграцию нитратного азота в глубокие слои почвы при длительном внесении азотных удобрений наблюдали и на черноземах обыкновенных [11], черноземах Сибири [12], серых лесных почвах Нечерноземья [13]. Вместе с тем вымываемые из корнеобитаемого слоя нитраты не считаются безвозвратно потерянными для растений. Чем глубже промерзает почва в предшествующий зимний период, тем большее количество нитратов перемещается из нижележащих горизонтов в вышележащие и тем заметнее последствие азотных удобрений на продуктивность культур [14, 15]. Однако миграция азота нитратов вниз по профилю зависит от дозы азотного компонента.

Общее содержание фосфора в пахотных горизонтах черноземов ЦЧО составляет 0,1-0,25% массы почвы, и только 10-20% его количества представлено относительно доступными для растений формами. Анализ агрогенных и временных рядов черноземов выявил возрастание содержания подвижного фосфора с повышением значений гидролитической кислотности. Абсолютное большинство пахотных черноземов Центрального Черноземья имеет среднее содержание подвижного фосфора [16]. Ежегодное внесение удобрений существенно влияет на содержание подвижных фосфатов. Определена четкая прямая зависимость между количеством внесенных фосфорных удобрений и содержанием доступного для растений фосфора в почве не только в пахотном, но и в подпахотном слое. Значительное увеличение запасов P₂O₅ в подпахотном слое при многолетнем внесении P_{ср} указывает на необходимость пересмотра сложившегося убеждения, что фосфорные удобрения полностью закрепляются в месте их внесения. Мы отметили это и в ранее проведенных исследованиях. Так, в слое почвы 0-60 см вариантов,

где вносили в составе полного удобрения P₆₀ и P₁₂₀, при определении фосфора методами Францесона, Бурриеля-Гернандо и «фосфатного уровня» по Карпинскому и Замятиной обнаружено обогащение P₂O₅ всего изучаемого слоя почвы [17].

На содержание обменного калия в почве влияет гранулометрический состав. В тяжелосуглинистых черноземах его количество в пахотных горизонтах может достигать высоких и очень высоких значений, больше 15-18 мг/100 г почвы. Черноземы выщелоченные Хохольского района имеют высокую степень обеспеченности обменным калием, поэтому они благоприятны для выращивания большинства сельскохозяйственных культур. Содержание K₂O в слое почвы 0-25 см при ежегодном внесении K₆₀ увеличивалось в среднем за вегетационный период на 24,7%, при дозе K₁₂₀ – на 55,6%. В слое 25-40 см количество K₂O возросло соответственно на 8,0 и 20,4%.

Многолетние исследования показали, что в Центральном Черноземье погодные условия в период вегетации растений определяют уровень урожайности семян подсолнечника (табл. 2). На естественном фоне в среднем за 5 ротаций 10-польного севооборота она составила 1,53 т/га, изменяясь от 0,95 т/га в 1976 г. до 2,02 т/га в 1988 г.

Действие отдельных видов удобрений на урожайность семян находилось в прямой зависимости от эффективного плодородия почвы. Как в I, так и в последующих ротациях севооборота, наибольший прирост урожайности семян получен от азотных и азотно-фосфорных удобрений, в среднем соответственно 16,3 и 26,1%. Внесение отдельно фосфорных и калийных удобрений было неэффективным. Максимальная прибавка урожайности семян была от N₆₀P₆₀K₆₀ и в среднем за годы исследований составила 33,3%.

Дальнейшее увеличение доз одного из элементов питания в составе полного удобрения оказалось экономически нецелесообразным. Вопрос о причинах сравнительно слабой отзывчивости на минеральные удо-

Табл. 4. Масса корневых остатков подсолнечника и содержание в них N, P₂O₅, K₂O (среднее за 3 года)

Слой почвы, см	Без удобрений	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀				
Масса остатков, т/га						
0-20	1,83	2,34				
20-40	0,14	0,22				
40-60	0,16	0,20				
0-60	2,13	2,76				
Содержание в корнях, кг/га						
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
0-20	9,0	3,5	12,4	14,0	5,1	19,7
20-40	0,9	0,4	0,6	1,6	0,7	1,5
40-60	1,1	0,5	0,8	1,5	0,7	1,2

брения подсолнечника полностью еще не выяснен. Как отмечал Д.Н. Прянишников [18], значение удобрений в культуре подсолнечника нельзя рассматривать вне связи со структурой его урожая. Доля семян в урожае не превышает 15%, часто снижается до 12%. По нашим многолетним данным, массовое соотношение между семенами и вегетативной массой подсолнечника в среднем было равно 1:2,1 на фоне без удобрений, при внесении N₆₀ P₆₀ K₆₀ и N₁₂₀ P₆₀ K₆₀ – 1:2,4 и 1:2,6 соответственно. Существует мнение, что не только подсолнечник, но и все масличные культуры слабо отзываются на удобрения [19, 20]. Это объясняется низкой активностью нитратредуктазы подсолнечника, регулирующей азотный обмен, что ограничивает первичное усвоение азота, поглощенного растениями [21].

Минеральные удобрения не способствовали повышению содержания жира в ядрах подсолнечника (табл. 3). В вариантах N₆₀ и N₁₂₀ P₆₀ K₆₀ в среднем за 5 ротаций выявлено его снижение на 1,4 и 1,8% абсолютных величин по сравнению с естественным фоном. Имеющиеся многолетние данные позволили сделать вывод о большем влиянии на этот показатель погодных условий в

период вегетации культуры, чем удобрений. Содержание жира в ядрах на фоне без удобрений изменялось от 60,1% в 1998 г. до 66,6% в 1988 г. В исследованиях других авторов [22] величина варьирования показателя на этом фоне еще больше – 9,8% абсолютных величин. Наибольшее влияние на сбор масла с 1 га оказывали азотно-фосфорные и полное минеральное удобрение (по 60 кг/га д.в.): сбор масла увеличивался на 25% по сравнению с естественным фоном (0,8 т/га). Изменение соотношения азота, фосфора и калия в полном удобрении не влияло на величину показателя.

Удобрения слабо воздействовали на лузжистость семян. В варианте P₆₀ K₆₀ отмечена незначительная тенденция ее увеличения на 0,8%, в варианте с внесением азота (N₆₀) – тенденция снижения на 0,5%. Лузжистость в большей степени различалась по годам исследований: без удобрений этот показатель менялся от 18,5% в 1986 г. до 24,4% в 1998 г.

Благодаря селекции содержание жира в ядрах повысилось с 55,1-56,9 до 60,1-66,6%, а лузжистость снизилась с 39,6-36,2 до 18,1-23,6%. Об этом свидетельствуют результаты исследований по агротехнике подсолнечника, проведенных на Воронежской областной опытной станции (ныне филиал ВНИИ кукурузы), а также данные наших опытов.

Один из основных источников стабилизации содержания запасов органического вещества в почве – нетоварная часть урожая, корневые и пожнивные остатки. Мы определили размеры накопления корневых остатков подсолнечника и возврат ими в почву азота, фосфора и калия (табл. 4). Однако проведенный расчет возврата в почву органического вещества с корневыми остатками был неполным. Не были учтены корни, отмершие в течение вегетации, и корневые выделения, которые трудно учесть, но роль которых в балансе органического вещества существенна.

Общая масса корневых остатков подсолнечника в слое почвы 0-60 см на фоне без удобрений составила 2,13 т/га, в варианте N₆₀ P₆₀ K₆₀ она увеличилась на 0,63 т/га или 29,6%. Основная масса корней (85-86 %), независимо от варианта, была сосредоточена в верхнем слое пахотного горизонта. Удобрения значительно влияли на содержание азота, фосфора и калия в корневых остатках. Можно отметить также, что количество азота

Табл. 5. Потребление азота и зольных элементов подсолнечником в зависимости от уровня применения удобрений (в среднем за 5 ротаций)

Элемент	Без удобрений	N ₆₀	P ₆₀	K ₆₀	N ₆₀ P ₆₀	N ₆₀ K ₆₀	P ₆₀ K ₆₀	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	N ₆₀ P ₁₂₀ K ₆₀	N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀	N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀
Средний ежегодный вынос растениями, кг/га												
N	53	66	54	50	76	72	58	83	78	74	76	95
P ₂ O ₅	22	27	26	24	31	26	29	34	30	34	33	38
K ₂ O	89	112	98	105	112	114	109	145	129	133	155	147
Хозяйственный вынос семенами, кг/га												
N	32	38	31	29	44	41	34	48	46	46	42	52
P ₂ O ₅	14	16	16	16	19	14	17	21	19	21	19	20
K ₂ O	12	14	13	12	14	12	13	15	15	16	15	16

и фосфора в корнях, расположенных в слоях 20-40 и 40-60 см, было выше, чем в слое 0-20 см. В отношении калия наблюдали обратную закономерность. С корневыми остатками на естественном фоне в почву возвращалось: азота – 11,0, фосфора – 4,4, калия – 13,8 кг/га; при внесении $N_{60}P_{60}K_{60}$ эти показатели увеличились соответственно на 6,1; 2,1 и 8,6 кг/га, что составило 56, 48 и 62%.

Важный показатель взаимодействия почвы и растений – вынос основных элементов питания. Для подсолнечника он был рассчитан по результатам анализа химического состава растений и их продуктивности (табл. 5). В среднем за 5 ротаций 10-польного севооборота внесение $N_{60}P_{60}K_{60}$ повысило потребление растениями азота на 25%, фосфора – на 23% и калия – на 26%. Применение P_{60} и K_{60} не влияло на потребление азота, но увеличило потребление зольных элементов на 9-18%. Азотные и фосфорные туки совместно и особенно полное минеральное удобрение значительно стимулировали использование подсолнечником минеральных элементов. Максимальное их количество растения выносили из почвы на фоне $N_{60}P_{60}K_{60}$ – 83 кг азота, 34 – P_2O_5 , 145 кг K_2O с 1 га. С учетом корневых остатков в слое 0-60 см потребление элементов минерального питания составило 100 кг/га азота, 41 – фосфора и 167 кг/га калия. Биологический вынос подсолнечником (с учетом корневой системы) из почвы на фоне без удобрений увеличивался по сравнению с хозяйственным выносом: по азоту – на 32 кг/га, фосфору – на 12 кг/га, калию – на 91 кг/га; при внесении $N_{60}P_{60}K_{60}$ – на 52, 20 и 152 кг/га соответственно.

Таким образом, в 10-польном севообороте полевого опыта при ежегодном применении удобрений на выщелоченных черноземах Центрального Черноземья рациональной дозой NPK под подсолнечник, обеспечивающей наибольшую урожайность семян, выход масла и высокое качество семян, следует считать $N_{60}P_{60}K_{60}$. Прибавка урожайности семян за 5 ротаций составила 0,4-0,7 т/га. Сбор масла увеличился на 25% по сравнению с неудобренным фоном (0,8 т/га). Хозяйственный вынос с учетом корневой системы на естественном фоне составил по азоту 50%, фосфору – 54% и калию – 12%; на фоне $N_{60}P_{60}K_{60}$ практически не изменился: 48, 51 и 9 % соответственно.

ЛИТЕРАТУРА

- Щербаков А.П., Протасова Н.А., Беляев А.Б. и др. Почвоведение с основами растениеводства. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1996. – 236 с.
- Абакумов И.Б. Тенденции развития маслосемян в мире и России // Экономика сельского хозяйства России. – 2012. – № 6. – С. 85-92.
- Лукомец В.М., Кривошлыков К.М. Производство подсолнечника в Российской Федерации: состояние и перспективы // Земледелие. – 2009. – № 8. – С. 3-8.
- Добровольский Г.В. Классификация и диагностика почв России. – Смоленск: Ойкумена, 2004. – 342 с.
- Стахурлова Л.Д., Стулин А.Ф. Биодинамика черноземов выщелоченных в длительном опыте с различными агротехническими приемами // Российская сельскохозяйственная наука. – 2016. – № 6. – С. 22-25.
- Станков Н.З. Корневая система полевых культур. – М.: Колос, 1968. – 495 с.
- Петербургский А.В. Практикум по агрохимической химии. – М.: Колос, 1968. – 495 с.
- Воробьева Л.А. Химический анализ почв. – М.: МГУ, 1998. – 272 с.
- Доспехов Б.А. Планирование полевого опыта и статистическая обработка его данных. – М.: Колос, 1972. – 205 с.
- Лисовой Н.В., Капустина Г.А. Динамика содержания азота, фосфора и калия в листьях подсолнечника (*Helianthus annuus*) по фазам развития растений в условиях Южной степи Украины // Проблемы агрохимии и экологии. – 2014. – № 2. – С. 34-37.
- Кизяков В.Е., Стулин А.Ф. Распределение нитратного азота по профилю обыкновенного чернозема Приазовской возвышенности // Агрохимия. – 1983. – № 3. – С. 43-49.
- Кирюшин В.И., Ткаченко Г.И. Профильное распределение нитратов в черноземах Сибири и усвоение их растениями яровой пшеницы с различной глубиной // Доклады ВАСХНИЛ. – 1985. – № 8. – С. 6-9.
- Никитишин В.И. Агрохимические основы эффективного применения удобрений в интенсивном земледелии. – М.: Наука, 1984. – 212 с.
- Никитишин В.И., Дмитрикова Л.К., Забрин А.В. Миграция нитратов при промерзании серой лесной почвы и доступность их растениям // Агрохимия. – 1998. – № 2. – С. 5-12.
- Никитишин В.И., Курганова Е.В. Плодородие и удобрение серых лесных почв ополей Центральной России. – М.: Наука. 2007. – 367 с.
- Агроэкологическое состояние черноземов ЦЧО / Под ред. А.П. Щербакова и И.И. Васенёва – Курск: Изд-во ВНИИЗиЗПЭ, 1996. – 326 с.
- Стулин А.Ф. Продуктивность подсолнечника при систематическом внесении удобрений в севообороте на выщелоченном черноземе ЦЧЗ // Агрохимия. – 1991. – № 10. – С. 64-70.
- Прянишников Д.Н., Якушкин И.В. Растения полевой культуры (частное земледелие). – М.: Сельхозгиз, 1936. – С. 335-357.
- Павленко В.А., Тишков Н.М., Никифорова Т.М. Удобрение масличных культур в севообороте // Масличные культуры. – 1986. – № 1. – С. 20-23.
- Лукашев А.А. Отзывчивость разных сортов подсолнечника на минеральные удобрения // Агрохимия. – 1986. – № 2. – С. 49-53.
- Редди Б.П., Кондратьев М.Н., Крастина Е.Е. Изменение поглощения нитрата и активности нитратредуктазы у подсолнечника при внесении хлористого аммония в питательный раствор // Изв. ТСХА. – 1982. – № 2. – С. 12-18.
- Агафонов Е.В. Влияние способов заделки индюшачьего помета в почву на азотный режим чернозема обыкновенного и урожайность подсолнечника (*Helianthus annuus* L.) // Проблемы агрохимии и экологии. – 2015. – № 1. – С. 9-16.
- Мартынов В.Н. Основные результаты работ по агротехнике и селекции масличных культур Воронежской области. – Воронеж, 1940. – С. 6-40.

Поступила в редакцию 21.10.19

После доработки 05.11.19

Принята к публикации 20.11.19

ЭТАПЫ ТРАНСФОРМАЦИИ ОЧИСТИТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ЗЕМЛЕДЕЛЬЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ОРОШЕНИЯ СТОЧНЫМИ ВОДАМИ ГАЗОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА

И.П. Кружилин¹, академик РАН,
Т.А. Гамм², доктор сельскохозяйственных наук

¹Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия,
400002, Волгоград, ул. Тимирязева, 9

²Оренбургский государственный университет,
460018, Оренбург, проспект Победы, 13
E-mail: hammtam@mail.ru

Исследована динамика очистительной способности земледельческих полей орошения сточными водами газоперерабатывающего комплекса. Показано, что при орошении нормой по 480 м³/га за 5-7 поливов в почву ежегодно поступает 2,98-4,17 т/га загрязнителей, которые остаются в почвогрунтах зоны аэрации и способствуют осолонцеванию, ошкелачиванию почвы и, как следствие, снижению урожайности сельскохозяйственных культур. При этом калций из верхних слоев почвы выносятся в более глубокие горизонты, формируя новый геохимический барьер. В условиях слабого оттока грунтовых вод отмечены подъем их уровня, накопление с привносимыми сточными водами солей и повышение их общей минерализации. Установлено, что при использовании более 20 лет земледельческие поля орошения проходят три этапа трансформации: адаптационный в течение 3-4 лет, устойчивого функционирования геоэкологической системы, утилизирующей промышленные сточные воды газоперерабатывающего комплекса продолжительностью 7-10 лет и критического состояния геоэкологической системы, связанного с утратой почвогрунтами очищающей способности и потребностью в оздоравливающих почвогрунты рекультивационных мероприятиях.

TRANSFORMATION STAGES OF CLEANING CAPACITY OF AGRICULTURAL IRRIGATION FIELDS WITH WASTEWATER FROM A GAS PROCESSING COMPLEX

Kruzhilin I.P.¹, Gamm T.A.²

¹Institute of Irrigated Agriculture,
400002, Volgograd, ul. Timiryazeva, 9

²Orenburg State University,
460018, Orenburg, prospect Pobedy, 13
E-mail: hammtam@mail.ru

The investigation of the dynamics of the cleaning capacity of agricultural irrigation fields of the wastewater from the gas processing complex showed that with irrigation at a rate of 480 m³/ha for 5 - 7 irrigations into the soil every year brings a 2.98 - 4.17 t / ha of pollutants, which remaining in the soil aeration zones contributed to alkalization and alkalinization of the soil and, as a result, reduced crop yields. In this case, calcium from the upper layers of the soil was carried into deeper layers, forming a new geochemical barrier. With a weak outflow of groundwater, their level rose, salt accumulated with wastewater, and their total mineralization increased. It has been established that when using agricultural irrigation fields for more than 20 years, they go through three stages: transformations, including adaptation within 3-4 years of stable functioning of the geo-ecosystem utilizing industrial wastewater from a gas processing complex lasting 7-10 years and a critical state of the geo-ecosystem associated with the loss of soil cleaning capacity by the soils and the need for remediation activities improving soil remediation measures.

Ключевые слова: земледельческие поля орошения, сточные воды газоперерабатывающей промышленности, засоление почв, уровень грунтовых вод, этапы трансформации очистительной способности

Key words: agricultural irrigation fields, wastewater from the gas processing industry, soil salinization, groundwater level, stages of transformation of purification capacity

Технологические процессы предприятий Оренбургской области связаны с использованием больших объемов воды. После выполнения целевого назначения она загрязняется и ее отводят в виде сточных вод, которые без предварительной очистки от загрязнителей не могут быть сброшены в водные объекты, что представляет серьезную проблему не только в России [1-5], но и за рубежом [6-9]. Чаще всего для очистки промышленных сточных вод используют земледельческие поля орошения (ЗПО) [10-12], где происходит доочистка сточных вод, а почвы деградируют и теряют очищающую способность [13-16], что послужило основанием для проведения наших исследований. Их целью было установление закономерностей динамики параметров характеристики геоэкологической системы под воздействием утилизации сточных вод для последующей разработки экологических ограничений по предотвращению деградации почвогрунтов, а при необходимости и их окультуривание.

Методика. Исследования проводили на ЗПО Оренбургского газоперерабатывающего комплекса площадью 1740 га, расположенных в непосредственной близости от предприятия в 1979-2015 гг. Сточные воды комплекса объемом более 2000000 м³ после собственных очистных сооружений биологической очистки проходят почвенную доочистку при орошении только кормовых сельскохозяйственных культур 63 дождевальными машинами (ДМ) «Фрегат». Почвы представлены черноземами южными малогумусными маломощными тяжелосуглинистыми. Грунтовые воды залегают на глубине 4-31 м.

Применяли методы моделирования водоносного горизонта в лизиметрах на лизиметрической площадке с исходным уровнем грунтовых вод 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 м с поливом сточной и смешанной водой, полевые методы исследований при орошении люцерны синегрибной сточными водами с глубиной увлажнения слоя почвы 0,5 м на всех этапах формирования геоэкологической системы.

На лизиметрической площадке установлено 14 модифицированных нами лизиметров ГГИ-2000 круглого сечения площадью 1,0 м² с грунтами естественной структуры. Пункты наблюдения устанавливали на территории ДМ «Фрегат» № 7 при посеве люцерны синегибридной и на фоновых участках без сброса сточных вод, на лизиметрических площадках по схемам экспериментов с отбором почвенных образцов по ГОСТ 17.4.3.01 – 83 и ГОСТ 17.4.4.02-84 два раза в год – весной и осенью, уровень грунтовых вод на каждой ДМ «Фрегат» при периодических (через 10 дней) наблюдениях – по Д.М. Кац (1981 г.). Достигнутое при сбросе сточных вод химическое загрязнение почв оценивали по рекомендациям Н.И. Парфеновой (1981 г.), почвенную очистку сточных вод – по методике И.И. Скрынниковой (1977 г.).

Как в полевых исследованиях, так и на лизиметрической площадке, изменение характеристик почвы в период эксплуатации ЗПО контролировали по ГОСТ 17.5.3.04 – 83, степень загрязнения сточных вод – по СанПиН 2.1.7.573 – 96. Выбор контролируемых загрязняющих веществ определялся требованиями ГОСТ 17.1.3.07 – 82, степенью токсичности и уровнем концентрации загрязнителей. Наблюдение за уровнем грунтовых вод вели в соответствии с методическими рекомендациями «Организация и производство наблюдений за режимом уровня, напора и дебита подземных вод» (1983 г.). Исследования подземных вод проводили на 63 и одной фоновой режимных гидрогеологических скважинах измерением уровня и определением качества грунтовых вод. Определяемые в подземных водах загрязнители, требования к условиям консервации проб воды, фильтрованию и используемым материалам – общепринятые.

Фенологические наблюдения включали определение сроков наступления основных фаз развития растений, возделываемых на ЗПО. Биологическую урожайность учитывали метрочками в 3-кратной повторности по укосам. Данные исследований обработаны методом дисперсионного анализа по Доспехову Б.А. (1979 г.).

Результаты и обсуждение. ЗПО предназначены для доочистки сточных вод и возвращения их в окружающую среду. В емкость сезонного регулирования в зимний период аккумулируются сточные воды после биологических очистных сооружений, сточные воды Оренбургского газоперерабатывающего комплекса, промышленной базы и Каргалинской ТЭЦ, табл. 1.

Экологическую опасность представляют минеральные соли сточных вод, наличие в них тяжелых металлов и нефтепродуктов не превышает ПДК для вод хозяйственно-бытового назначения. Несмотря на срав-

Табл. 1. Химический состав сточных вод емкости сезонного регулирования, 1979-2014 гг.

Показатель	1979 г.	2001 г.	2005 г.	2010 г.	2014 г.
БПК ₅ , мг О ₂ /дм ³		19,32	11,42	18,35	23,70
ХПК, мг О ₂ /дм ³	50,2	41,00	51,28	60,93	68,90
Сульфаты, мг/дм ³	160	195,00	196,30	188,40	230,40
Хлориды, мг/дм ³	165	311,00	308,70	386,50	301,45

Табл. 2. Годовой баланс накопления солей (т/га) в почве при орошении сточными водами за первый этап, 1982-1987 гг.

Вариант	Приход со сточными водами	Вынос		Осталось в почво-грунте
		урожаем	фильтрационной водой	
ЗПО	4,046	0,234	0,00014	3,812
Лизиметры, УГВ:	4,046	0,332	0,00165	6,21
1,0 м				
1,5 м	4,046	0,346	0,00072	5,53
2,0 м	4,046	0,318	0,00036	4,91
2,5 м	4,046	0,320	0,00015	4,73

нительно невысокую минерализацию, в среднем не более 1,22 г/л, общее содержание солей в сточных водах по сравнению с водами р. Урал, как и катионов натрия и магния, а также анионов сульфатов и хлоридов, было больше в 2-3 раза. В сточных водах содержатся органические вещества. Все это свидетельствует о том, что без предварительной доочистки они не могут быть сброшены в поверхностные или подземные воды, поэтому было решено использовать для этих целей ЗПО, на которых возделывали в основном кормовые культуры. Предельная норма орошения сточными водами, измеряемая максимально допустимой годовой подачей их на единицу площади, составляла 3500 м³/га. Следовательно, при соблюдении принятых ограничений по норме орошения годовое поступление солей на ЗПО со сточной водой не должно превышать 4,47 т/га.

При возделывании на ЗПО кормовых культур: люцерны синегибридной, суданской травы и др. нормы орошения в зависимости от допустимого снижения влажности активного слоя почвы и суммы осадков за вегетационный период изменялись от 2400 до 3360 м³/га. Их подавали на ЗПО при снижении влажности активного (0,6 м) слоя почвы до 70-75 % НВ (наименьшая влагоемкость) нормой по 480 м³/га за 5-7 поливов. С таким количеством сточных вод в почву ежегодно поступало 2,98-4,17 т/га солей, из которых часть использовали растения на формирование урожая, часть промывалась в более глубокие горизонты, за пределы активного слоя. Уже на первом этапе исследований было установлено, что большая часть из них оставалась в верхнем метровом слое почвы (табл. 2).

С урожаем выносилось менее 10% поступивших со сточной водой солей, еще меньшая их доля – с инфильтрационной водой. Поэтому при залегании уровня грунтовых вод ниже критической глубины в почво-грунтовом слое преимущественно ежегодно накапливалось в среднем 3,8 т/га солей сточных вод. При залегании уровня грунтовых вод выше критической глубины значительная часть солей с капиллярной каймой поступала в зону аэрации.

Оценка влияния длительного орошения сточными водами на химический состав исследуемых почв на третьем этапе исследования представлена в табл. 3. Более чем 20-летнее орошение сточными водами способствовало переводу этих почв по водной вытяжке из категории нейтральной в щелочную. В почве значительно повысилось содержание гумуса, особенно в пахотном слое, что связано прежде всего с орошени-

Табл. 3. Динамика агрохимической характеристики чернозема южного под влиянием длительного орошения сточными водами на третьем этапе исследования геозкосистемы

Глубина отбора образца, м	рН		Гумус, %		Емкость поглощения		Поглощенный натрий		Подвижный фосфор		Обменный калий	
					ммоль/100 г почвы				мг/кг почвы			
	1979 г.	1999 г.	1979 г.	1999 г.	1979 г.	1999 г.	1979 г.	1999 г.	1979 г.	1999 г.	1979 г.	1999 г.
0-0,20	7,2	8,3	4,8	5,9	28,0	32,8	0,38	2,1	16,5	25,0	260	370
0,20-0,45	7,6	8,5	3,9	5,2	23,2	31,4	0,87	2,1	6,5	160	100	280
0,46-1,15	7,2	8,7	2,7	3,2	-	30,2	1,90	2,3	-	-		

ем, создавшим благоприятные условия для активизации микробиологической деятельности, внесением органических и минеральных удобрений и получением высоких урожаев сельскохозяйственных культур, оставляющих после уборки существенное количество пожнивной и корневой массы.

Емкость поглощения почвы и количество натрия в почвенном поглощающем комплексе повысились более чем на 10%, увеличилось содержание подвижного фосфора и обменного калия. Концентрация тяжелых металлов в пахотном слое почвы по Cu составила 4,17, Zn – 1,7, Co – 4,2, Mn – 4,59, Ni – 2,5, Pb – 2,3, Cd – 2,0 и Cr – 2,46. Наряду с накоплением тяжелых металлов в почве ЗПО снизились фильтрационные показатели, отмечены ошелашивание и слитизация.

Длительное орошение сточными водами значительно влияло на гидрогеологические характеристики ЗПО и прилегающей к ним территории. При слабом оттоке грунтовых вод происходил подъем их уровня, накопление с привносимыми сточными водами солей, повышение их общей минерализации. По данным мониторинга, это объясняется частичной потерей при длительной эксплуатации ЗПО утилизирующей способности почвы загрязняющих сточные воды веществ. При этом в почвенном профиле отмечены разрушение существующего карбонатного горизонта и формирование новых солевых барьеров в пахотном слое 0-0,3 м и на границе промачивания почвы поливами на глубине 0,5-0,6 м. В этих геохимических барьерах и сосредоточивались в основном тяжелые металлы.

Новый карбонатный барьер на почвах ЗПО формировался на глубине 0,6-0,8 м. Наряду с миграцией солей в почве, наблюдали поступление загрязнителей сточных вод в грунтовые и поверхностные воды реки, сезонную цикличность их уровня, связанную со сбросом сточных вод и выпадением атмосферных осадков.

Вследствие частичного потребления загрязнителей сточных вод растительностью, накопления их в геохимических барьерах, а также собственной почве буферности, в том числе и к натрий-иону, в первые годы функционирования ЗПО все стрессовые ситуации, связанные с утилизацией сточных вод газоперерабатывающего комплекса, нивелировались саморегулирующей способностью геозкосистемы. Однако с увеличением срока службы ЗПО, по мере накопления загрязнителей и негативного воздействия их на геозкосистему, устойчивость ее функционирования нарушалась. Это проявлялось в подъеме уровня грунтовых вод, уменьшении зоны аэрации почвогрунтов до размеров, затрудняющих или не обеспечивающих возложенных на ЗПО функций, других признаках природной и экологической деградации геозкосистемы.

Анализ полученных в результате мониторинга данных позволил установить три этапа трансформации геозкосистемы ЗПО газоперерабатывающего комплекса. Первый – адаптационный, зависящий в основном от мощности зоны аэрации, нормы нагрузки и степени загрязнения сточных вод (3-4 года). В этот период идет насыщение почвенно-грунтового профиля инфильтрационными водами и загрязнителями сточных вод с перемещением карбонатного горизонта за пределы глубины промачивания почвы и формированием двух новых геохимических барьеров. Геоэкологическая составляющая природно-технической системы функционировала устойчиво, продуктивность сельскохозяйственных культур благодаря орошению и удобрениям существенно повысилась, растительная продукция отвечала экологическим требованиям.

Второй этап – устойчивое функционирование геозкосистемы, утилизирующей промышленные сточные воды (7-10 лет). Возникающие под воздействием залповых выбросов на ЗПО сточных вод стрессовые

Табл. 4. Динамика показателей характеристики почв геозкосистемы на четвертом этапе (среднее по ЗПО, 1982-2015 гг.)

Показатель	рН	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ⁴⁺
	мг/кг						
Фон, без орошения	7,5	69,90	742,90	41,00	64,50	32,70	35,60
Среднее по ЗПО за 1982-1984 гг.	8,2	84,00	279,70	51,30	56,10	26,90	42,3
Среднее по ЗПО, 2014 г. (осень)	8,3	95,30	441,30	89,20	104,00	25,40	57,00
Среднее по ЗПО, 2015 г. (весна)	8,1	78,50	551,50	38,00	81,00	23,90	94,90

ситуации носили циклический характер и не выходили за пределы экологической емкости геоэкосистемы, так как полностью гасились вновь сформировавшимися в почвогрунтовой профиле геохимическими барьерами. С этим периодом связано пополнение грунтовых вод фильтрационными и в основном очищенными сточными водами. В связи с интенсивным разрушением фильтрационными водами карбонатного барьера часть ионов кальция и магния вместе с ними попадала в грунтовые воды, уровень которых поднимался тем заметнее, чем больше сокращалась зона аэрации.

Наиболее существенные изменения качественного состояния геоэкосистемы связаны с третьим этапом ее развития, обусловленным значительной утратой почвогрунтами очищающей способности, связанной с насыщением их загрязнителями и уменьшением зоны аэрации в части реабилитирующей транзит через почвогрунты сточными водами ЗПО в грунтовой поток. Поэтому была проведена рекультивация земель с использованием серной кислоты и кальцийсодержащих веществ для улучшения свойств почв, и геоэкосистема вступила в 4 этап своего развития (табл. 4).

Данные многолетнего мониторинга состояния геоэкосистемы свидетельствуют о необходимости мероприятий по восстановлению утраченной ЗПО способности к очистке промышленных сточных вод и улучшению качества сбрасываемых сточных вод. На участках с высоким уровнем грунтовых вод требуется их понижение вплоть до строительства дренажа. Чтобы уменьшить негативное влияние минерализованных грунтовых вод в местах расположения их выше критической глубины на почвах зоны аэрации следует снизить норму орошения сельскохозяйственных культур сточными водами.

Литература.

- Максименко В.П., Стрельбицкая Е.Б., Зайцев С.А. Об инженерно-техническом решении экологических проблем водопользования в сельском хозяйстве // *Экология и промышленность России*. – 2015. – Т. 19. – № 1. – С. 4–7.
- Кирейчева Л.В., Юрченко И.Ф., Яшин В.М. Научные основы создания и управления мелиоративными системами в России / Под ред. Л.В. Кирейчевой. – М.: ВНИИ агрохимии, 2017. – 296 с.
- Инновационные методы очистки и вторичного использования сточных вод (I). [Электронный ресурс] / Колесник [и др.] // *Актуальные проблемы современной науки*. – 2016. – №1 (86). – С. 212–217. – Режим доступа: <https://rucont.ru/efd/411482/>
- Исследование работы установок для очистки нефтесодержащих и промышленных сточных вод. [Электронный ресурс] / Максимов, Васильев // *Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса*. – 2014. – №4 – С. 21–32. – Режим доступа: <https://rucont.ru/efd/441189>.
- Мирхасилова З.К., Тиркашева М.Б., Нигматов И. Комплекс мероприятий по сокращению сброса загрязненных вод в реки [Текст] // *Инновационные технологии в сельском хозяйстве: материалы Междунар. науч. конф. (г. Москва, июнь 2015 г.)*. – М.: Буки-Беди, 2015. – С. 19–22. – URL <https://moluch.ru/conf/agr/archive/127/7097/>.
- The impact of replacing groundwater by treated sewage effluent on the irrigation requirements of Al Ghaf (*Prosopis cineraria*) and Al Sidr (*Ziziphus spina-christi*) forests in the hyper-arid deserts of Abu Dhabi/ Wafa Al-Yamani, Steve Green, Rommel Pangilinan, Steve Dixon, Shabbir A. Shahid, Peter Kemp, Brent Clothier. // *Agricultural Water Management*: – 2019. – № 214 – P. 28–37/
- The Influence of Nutrients on Turfgrass Response to Treated Wastewater Application, Under Several Saline Conditions and Irrigation Regimes *Environmental Processes*, J. Beltrão, P. J. Correia, M. Costa, P. Gamito, R. Santos, J. Seita. – // *Springer Science and Business Media LLC. Environmental Processes. Environmental Processes*. – 2014. – Vol. 1, – P. 105–113. doi:10.1007/s40710-014-0010-1.
- Use of brackish water and its impacts on soil fertility and wheat crop in Kachho, Sindh, Pakistan. By: Noor Hussain Chandio, Gohar Ali Mahar, Naveed Noor / *Int. J. Biosci. // International Journal of Biosciences | IJB | ISSN: 2220-6655 (Print), 2222-5234 (Online) http://www.innspub.net*. 2018. – Vol. 13. – N. 5. – P. 70–76, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.12692/ijb/13.5.70-76>.
- Effectiveness of inorganic and organic mulching for soil salinity and sodicity control in a grapevine orchard drip-irrigated with moderately saline waters Ramón Aragüés*, Eva Teresa Medina and Ignacio Clavería. // *Spanish Journal of Agricultural Research*. – 2014. – № 12(2). – P. 501–508.
- Гамм Т.А. Научные основы рациональной организации природно-технической системы. – Екатеринбург: УрОПАН, 2003. – 486 с.
- Сетко Н.П., Боев В.М. Медицина труда и экология человека в газовой промышленности: монография. – М.: Медицина, 2009. – 420 с.
- Опустынивание и комплексная мелиорация агроландшафтов засушливой зоны / К.Н. Кулик, Э.Б. Габунчина, И.П. Кружilin [и др.]. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 2007. – 85 с.
- Драган Н.А. Динамика почвенных процессов при орошении агроландшафтов в равнинном Крыму // *Геополитика и экогеодинамика регионов: сборник научных трудов Таврического национального университета имени В.И. Вернадского*. Вып. 2. – Симферополь: ТНУ им. В.И. Вернадского, 2005. – С. 33–44.
- Кружilin И.П., Казакова Л.А. Комплексная мелиорация солонцов на орошаемых землях Волго-донского междуречья // *Почвоведение*. – 2003. – N 5. – С. 623–629.
- Кружilin И.П., Казакова Л.А. Толерантность основных культур кормовых севооборотов к засолению // *Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук*. – 2006. – N 6. – С. 37–39.
- Минкина Т. М., Ендовицкий А. П., Калинин В. П., Федоров В.. Карбонатно-кальциевое равновесие в системе вода-почва — Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2012. – 375 с.

Поступила в редакцию 17.12.19

После доработки 10.01.20

Принята к публикации 27.01.20

ВТОРИЧНОЕ ОСВОЕНИЕ НЕИСПОЛЪЗУЕМЫХ УГОДИЙ

А.И. Иванов¹, член-корреспондент РАН,
Ж.А. Иванова¹, кандидат сельскохозяйственных наук, И.В. Соколов²

¹Агрофизический научно-исследовательский институт,
195220, Санкт-Петербург, Гражданский пр., 14

²Северо-Западный центр междисциплинарных исследований проблем продовольственного обеспечения,
196608, Санкт-Петербург-Пушкин, ш. Подбельского, 7
E-mail: ivanovai2009@yandex.ru

Неиспользуемые залежные земли на Северо-Западе России быстро зарастают древесно-кустарниковой растительностью. Их эффективное освоение под кормовые угодья связано с поиском оптимальных безопасных решений как по переработке этой растительности, так и по восстановлению плодородия дерново-подзолистых почв. Целью исследования стала оценка эффективности новых технологических вариантов восстановления плодородия дерново-подзолистых почв осваиваемых закустаренных залежей с использованием продуктов переработки надземной биомассы древесно-кустарниковой растительности и дешевых местных мелиорантов. Исследовали закустаренную залежь, осваиваемую под кормовой севооборот. Установлено резкое снижение урожайности однолетних трав (до 5 раз) на фоне заделанных в почву продуктов переработки древесно-кустарниковой растительности. При этом в зеленой массе трав на 8-13% снижалось содержание сырого протеина и зольных веществ. Применение комплекса химических мелиорантов позволило не только нивелировать эти неизбежные издержки культуртехнической мелиорации, но и довести урожайность зеленой массы трав в лучших вариантах опыта до 37- 44 т/га. В среднем по опыту прибавка их урожайности от комплекса мелиорантов составила 79 % в прямом действии и 27 % в последствии. Лучшие показатели достигнуты сочетанием мелиорантов с биоуглем, снизившим в 5 раз выброс CO₂ в атмосферу.

SECONDARY DEVELOPMENT OF UNUSED LAND

Ivanov A.I.¹, Ivanova Zh.A.¹, Sokolov I.V.²

¹Agrophysical Research Institute,
195220, Sankt-Peterburg, Grazhdanskiy pr., 14

²North-West Centre of Interdisciplinary Researches of Problems of Food Maintenance,
196608, Sankt-Peterburg-Pushkin, sh. Podbel'skogo, 7
E-mail: ivanovai2009@yandex.ru

Unused lands in North-West Russia for increasing wood and shrub vegetation (WSV). Their effective development for forage is associated with the search for optimal safe solutions both for the processing of WSV and for the restoration of the fertility of sod-podzolic soils. The aim of the study was to evaluate the effectiveness of new technological options for the restoration of fertility of sod-podzolic soils develop bushed deposits using the products of processing of above-ground biomass of the trees and shrubs and cheap local ameliorants. The object of the study were bushed Deposit, developing under fodder crop rotation. A sharp decrease in the yield of annual grasses (up to five times) against the background of the products of processing of wood and shrub vegetation (WSV) embedded in the soil was established. At the same time, the content of raw protein and ash substances in the green mass of herbs decreased by 8 – 13%. The use of a complex of chemical meliorants allowed not only to level these inevitable costs of cultural reclamation, but also to bring the yield of green grass in the best versions of the experience to 37 – 44 t/ha. The average yield from the meliorant complex was 79% in direct action and 27% in the aftereffect, according to the experience. The best performance is achieved with the use ameliorants with biochar, reduce five times the CO₂ into the atmosphere.

Ключевые слова: закустаренная залежь, древесно-кустарниковая растительность, плодородие почвы, освоение залежи, мелиорант, агрономическая эффективность, качество продукции

Key words: bushed reservoir, wood and shrub vegetation, soil fertility, development of de-posit, ameliorant, agronomic efficiency, product quality

За последние 30 лет в Российской Федерации из хозяйственного оборота выведено более 50 млн га сельскохозяйственных угодий [1]. В условиях Северо-Западного района с его мелкоконтурностью полей и высокой лесистостью такие угодья в течение нескольких лет покрываются древесно-кустарниковой растительностью. Среднегодовую динамику зарастания полей от краев в отсутствие мероприятий по сведению такой растительности оценивают в 0,05-0,2 м [2]. Скорость восстановления естественной растительности при сплошном зарастании столь высока, что на порядок превосходит почвенные преобразования [3, 4]. Поэтому на фоне критично низкого уровня хозяйственного использования пашни (55%) степень ее зарастания дерново-кустарниковой растительностью варьирует по областям от 42 до 58% [2]. По данным наших геоботанических исследований, современный запас надземной биомассы древесно-кустарниковой растительности на

сельскохозяйственных угодьях Северо-Запада России в зависимости от возраста, ботанического состава и агроэкологических условий составляет 6-234 т/га или в среднем – 139 т/га [2].

Взросшие потребности животноводства в качественных кормах требуют освоения закустаренных залежей [2, 5]. Однако массовое использование старых, далеких от природоподобия технологий на основе корчевки [6] неизбежно сопровождается рядом проблем, связанных не только с утратой гумусового горизонта, нерациональным расходом запасов углерода, усилением его поступления в форме CO₂ в атмосферу, но и с определенной слабостью современной научной базы. И хотя в последние годы рядом научных коллективов предприняты шаги в этом направлении [5, 7-11], проблемы экологичности и экономичности предлагаемых технологий по-прежнему актуальны. Это касается и необходимости ограничения спонтанного выброса

углекислого газа [12, 13], в том числе за счет преобразования биомассы в биоуголь [14-16], и восстановления утраченного за эти годы эффективного плодородия почв [17-19], и достижения высокого уровня агрономической и экономической эффективности [2, 5, 10].

Целью совместных исследований была оценка эффективности новых технологических вариантов восстановления плодородия дерново-подзолистых почв осваиваемых закустаренных залежей с использованием продуктов переработки надземной массы древесно-кустарниковой растительности и дешевых местных мелиорантов.

Методика. Опыты проводили на полях предприятия «София» Тосненского района Ленинградской области на закустаренной залежи прежнего долготного культурного пастбища, созданного в 80-е годы прошлого века на пашне. Почва – дерново-подзолистая глееватая тяжелосуглинистая с начальной мощностью пахотного горизонта 22 см; реакция почвенной среды – сильнокислая (pH_{KCl} 4,27), содержание гумуса – 3,87%, подвижных соединений фосфора и калия – соответственно 54 и 123 мг/кг. По данным седьмого тура агрохимического обследования (1999 г.), эти показатели достигали 5,2 ед. рН, 5,15%, 138 и 207 мг/кг соответственно.

Предварительное геоботаническое обследование показало, что до 97% ботанического состава древесно-кустарниковой растительности приходится на ольху серую, осину, березу и иву. С учетом степени зарастания угодья на уровне 55-85% средняя продуктивность надземной биомассы древесно-кустарниковой растительности составляла около 100 т/га. Такую массу растительности и принимали в качестве объекта изучения в опыте (применительно к соответствующей площади опытной делянки).

Опыт – модельно-полевой мелкоделяночный двухфакторный. Фактор А – продукт технологической переработки древесно-кустарниковой растительности, соответствующий одному из технологических вариантов ее сведения в процессе культуртехнической мелиорации: щепы (5-15 см) и сечка (1-5 см) – продукты прямой фрезерной переработки биомассы машинами импортного производства; биоуголь – продукт пиролизной переработки; древесная зола – продукт сжигания евродров (высокообъемная переработка древесины, целесообразная с экономических позиций). С учетом процента выхода продуктов из 100 т древесно-кустарниковой растительности нормы внесения составили: щепы и сечки – 100 т/га, биоугля – 10 т/га, золы – 1,05 т/га. Фактор Б – химический мелиорант и способ его заделки: птичий помет с содержанием в сухом веществе N – 2,80, P_2O_5 – 4,59 и K_2O – 2,43%, легированный калием минерального удобрения до соотношения N: K_2O = 1:1 в дозах 20 и 40 т/га (сухое вещество.) с послойной заделкой (½ дозы под вспашку и ½ дозы под предпосевную культивацию) и доломит сыромолотый с нейтрализующей способностью 75% в дозе 10 т/га (1 Нг) с внесением под вспашку или послойно (равными долями под вспашку и предпосевную обработку). Опыт развернут во времени в полевом севообороте. В 2017 г. возделывали однолетние травы на зеленый корм (овес) с подсевом многолетних трав, в 2018 г. – многолетние травы (тимopheевка луговая + фестулолиум + клевер луговой). Площадь делянки – 3,3 м², учетная – 1,5 м², повторность – 3-кратная. Статистическая обработка данных выполнена дисперсионным методом с использованием программного пакета Stat.

Результаты и обсуждение. Эффективность изучаемых вариантов использования продуктов переработки древесной биомассы и воспроизводства почвенного плодородия в полевом эксперименте зависела от комплекса агроэкологических условий и уровня оптимизации водно-воздушного и питательного режимов почвы. При этом определенную негативную роль сыграли неблагоприятные погодноклиматические условия в годы исследований. В частности, заключительная часть вегетации однолетних трав проходила на фоне избыточного выпадения осадков и штормовой погоды, вызвавшей полегание посевов и увеличение потерь при уборке в вариантах с максимальной биологической продуктивностью посевов на фоне мелиорантов. В 2018 г. на многолетние травы негативное воздействие оказала продолжительная позднеосенняя-раннелетняя засуха, снизившая продуктивность культуры в первом укосе.

В год внесения в неудобренную почву продуктов переработки древесно-кустарниковой растительности наблюдали резкое (на 42-80%) снижение урожайности зеленой массы овса (табл.). Подобное отмечено и в работах [20, 21], но речь в них шла об уменьшении урожайности на 15-20%. В нашем опыте в варианте с сечкой древесно-кустарниковой растительности, то есть, когда площадь контакта древесины с почвой была максимальной, урожайность зеленой массы снижалась в 5 раз, а угнетение растений происходило уже в фазе полных всходов. Этот вопрос требует отдельного изучения, поскольку только иммобилизацией минерального азота целлюлозоразлагающими бактериями такой ущерб объяснить невозможно. Вероятно, больше сказывалось накопление токсичных для растений и полезных микроорганизмов высокомолекулярных соединений (в том числе дубильных веществ), а также нарушение строения пахотного слоя. Следует отметить, что и через год прослеживалось негативное влияние щепы и сечки.

Сложнее объяснить сильное (на 42-46%) снижение урожайности в вариантах с заделкой в почву биоугля и золы. Принято считать, что удобрение золой – это основа подсебно-огневой системы земледелия. Обнаружилось вредное влияние высокой дозы золы, а точнее ее гидролитически щелочных компонентов, внесенных в ограниченный верхний слой почвы, на формирование корневой системы овса. Ее масса в пределах пахотного слоя снижалась относительно контроля с 1,15 до 0,78 кг/м², или на 32%. В свою очередь биоуголь, обладающий высокой поглотительной способностью [14-16], мог стать для растений конкурентом в поглощении элементов питания. На второй год отмечено положительное действие этих продуктов переработки древесно-кустарниковой растительности на урожай.

Эффективность мелиоративных доз комплекса использованных удобрений на свободной от древесно-кустарниковой растительности почве была невысокой (средняя прибавка урожайности зеленой массы трав составила 23% в прямом действии на однолетних травах и всего 4% – в последствии на многолетних травах с доминированием клевера лугового). Вероятно, сказались высокое содержание гумуса, заделка в почву мощной дернины, потери при уборке из-за сильного полегания посевов однолетних трав на фоне высоких доз и низкая отзывчивость клевера лугового на высокие дозы птичьего помета. Однако на фоне продуктов переработки древесно-кустарниковой растительности роль мелиорантов существенно возростала.

**Агрономическая эффективность продуктов переработки древесно-кустарниковой растительности (ДКР)
и мелиорантов при освоении залежи**

Вариант		Урожайность зеленой массы трав, т/га						Прибавка урожайности зеленой массы трав											
Фактор А	Фактор Б	однолетних			многолетних			однолетних						многолетних					
		по варианту	средняя по фактору		по варианту	средняя по фактору		от продук-тов ДКР		от мелио-рантов		от послой-но-го внесения		от продук-тов ДКР		от мелио-рантов		от по-слойного внесения	
			А	Б		А	Б	т/га	%	т/га	%	т/га	%	т/га	%	т/га	%	т/га	%
Контроль	Контроль	22,9	27,0	12,7	21,7	22,4	23,3	-	-	--	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Щепа		10,4	26,6		21,3	26,4		-12,5	-55	-	-	-	-	-0,4	-2	-	-	-	-
Сечка		4,6	23,1		19,1	28,8		-18,3	-80	-	-	-	-	-2,6	-12	-	-	-	-
Биоуголь		12,3	30,8		28,5	32,2		-10,6	-46	-	-	-	-	6,8	31	-	-	-	-
Зола		13,3	28,6		25,8	31,7		-9,6	-42	-	-	-	-	4,1	19	-	-	-2,6	-
Контроль	Птичий помет 20 т/га + доломит сыромолотый 1 Нг (послойно) + К ₇₀	30,2		28,1	23,8		29,1	-	-	7,3	32	4,1	16	-	-	2,1	10	0,3	12
Щепа		28,6			26,7			-1,6	-5	18,2	175	0,4	1	2,9	12	5,4	25	3,9	1
Сечка		27,6			32,2			-2,6	-9	23,0	500	9,5	52	8,4	35	13,0	68	-2,7	14
Биоуголь		28,5			30,7			-1,7	-6	16,2	132	-2,6	-8	6,9	29	2,2	8	1,4	-8
Зола		25,7			32,3			-4,5	-15	12,4	93	-8,6	-25	8,5	36	6,5	25	2,5	5
Контроль	Птичий помет 40 т/га + доломит сыромолотый 1 Нг (послойно) + К ₁₄₀	28,1		31,8	28,3		31,5	-	-	5,2	23	0,2	1	-	-	2,1	10	3,9	12
Щепа		34,2			32,1			6,1	22	23,8	229	2,8	9	8,4	35	10,9	51	8,5	14
Сечка		29,9			36,6			1,8	6	25,3	550	-5,5	-16	12,8	54	17,0	89	-2,7	30
Биоуголь		3,0			32,9			9,9	35	25,7	209	-6,2	-14	9,1	38	4,4	15	-5,5	-8
Зола		28,9			32,1			0,8	3	15,6	117	-11,8	-29	8,3	35	6,3	24	-	-15
Контроль	Птичий помет 20 т/га + доломит сыромолотый 1 Нг (глубоко) + К ₇₀	26,1		27,6	21,3		28,0	-	-	3,2	14	-	-	-	-	-0,4	-0,2	-	-
Щепа		28,2			26,4			2,1	8	17,8	171	-	-	5,1	24	5,1	24	-	-
Сечка		18,1			28,3			-8,0	-31	13,5	293	-	-	7,0	33	9,1	48	-	-
Биоуголь		31,1			33,4			5,0	19	18,8	153	-	-	12,1	57	4,9	17	-	-
Зола		34,3			30,9			8,2	31	21,0	158	-	-	9,6	45	5,1	20	-	-
Контроль	Птичий помет 40 т/га + доломит сыромолотый 1 Нг (глубоко) + К ₁₄₀	27,9		35,9	21,3		30,2	-	-	5,0	22	-	-	-	-	-0,4	-0,2	-	-
Щепа		31,4			28,2			3,5	13	21,0	202	-	-	7,0	33	7,0	33	-	-
Сечка		35,4			28,0			7,5	27	30,8	670	-	-	6,7	32	8,9	46	-	-
Биоуголь		44,2			35,6			16,3	58	31,9	259	-	-	14,3	67	7,1	25	-	-
Зола		40,7			37,6			46	27,4	206	-	-	-	16,3	77	11,8	46	-	-
НСР ₀₅ по фактору А		1,5			2,2														
по фактору Б		2,7			3,1														
по взаимодействию АБ		3,3			5,7														

Уже на первой культуре они позволили значительно уменьшить ущерб от заделки в почву щепы и сечки, а в вариантах с биоуглем и золой добиться повышения урожайности на 3,8 и 1,6 т/га соответственно. На второй культуре прибавка урожайности отмечена во всех вариантах с заделкой продуктов переработки древесной биомассы (4,0-9,8 т/га). В среднем по вариантам прибавка урожайности зеленой массы трав от применения комплекса мелиорантов составила 79% в прямом действии и 27% в последствии.

Удвоение и без того высокой дозы птичьего помета, легированного калийным удобрением, мы рассматриваем как запасное внесение в системе удобрения полевого севооборота. Естественно, что потенциал этого варианта на первых двух культурах не был полностью реализован. Кроме того в условиях избытка осадков были потери от сильного полегания посевов. В среднем за два года прибавка урожайности от одинарной дозы мелиорантов составила 57%, от двойной – 80%. Лучший результат обеспечило применение мелиорантов на фоне биоугля – средняя за два года прибавка урожайности составила 34,3 т/га (на фоне щепы – 29,5, сечки – 29,3, золы – 32,8 т/га). Известно, что в Западной Европе переработку древесно-кустарниковой растительности в биоуголь рассматривают как один из резервов уменьшения выброса в атмосферу углекислого газа. В нашем опыте потенциальные выбросы углекислого газа от преобразования древесной биомассы удавалось снизить с 46,2-51,3 т/га в вариантах с корчевкой и сжиганием евродров до 35,9-38,2 т/га при ее заделке в почву и до 10,3 т/га в варианте с биоуглем (в 5 раз).

Дробное (послойное) внесение известьсодержащего мелиоранта было эффективным на фоне измельченной древесно-кустарниковой растительности: в варианте со щепой средняя по двум культурам урожайность трав составила 30,4 т/га, при однократном внесении с глубокой заделкой – 28,6 т/га, в варианте с сечкой – 31,6 и 27,5 т/га соответственно. При использовании древесной золы преимущество глубокой заделки не вызывало сомнений (превышение урожайности относительно варианта с послойным внесением этого мелиоранта на 6,1 т/га). Очевидно, нейтрализующее действие карбонатов золы было достаточным для оптимизации кислотно-основных свойств верхнего слоя почвы.

Заделка в почву продуктов переработки древесно-кустарниковой растительности ухудшала качество растительной продукции. Следует отметить, что зеленая масса овса и в контрольном варианте опыта характеризовалась невысокой кормовой ценностью. В ее сухом веществе содержалось 9,5% сырого протеина, 0,33% P_2O_5 , 2,63% K_2O , 0,27% Са и 25,3% клетчатки. При заделке продуктов переработки в неудобренную почву в среднем значение показателей снизилось: содержание протеина – на 8%, зольных веществ – на 13, в том числе калия – на 48 % (относительных). В то же время применение комплекса мелиорантов на свободной от продуктов переработки древесно-кустарниковой растительности почве сопровождалось увеличением содержания сырого протеина на 77 %, фосфора – на 21, калия – на 17, кальция – на 19 % (содержание клетчатки снижалось незначительно). Эти показатели сохранялись или незначительно возрастали: в среднем по вариантам содержание сырого протеина – на 17,2, P_2O_5 – на 0,41, K_2O – на 2,80, Са – на 0,33%. Несомненно, что они были в вариантах с заделкой сечки (особенно содержание сырого протеина), а выше – в вариантах с биоуглем и золой.

Таким образом, современный фонд закустаренных залежных земель в Северо-Западном районе России столь обширен, что позволяет выбрать для первоочередного освоения менее закустаренные угодья с достаточно плодородными почвами. Для этого обязательно предварительное геоботаническое и почвенное обследование. Использование данных прошлых лет не дает объективной картины, поскольку за годы нахождения в залежи окультуренные ранее почвы существенно деградировали.

Сводимая в процессе культуртехнической мелиорации древесно-кустарниковая растительность в любой форме технологической переработки резко (на 42-80%) снижала урожайность первой неприхотливой сельскохозяйственной культуры. Предотвращение или значительное ослабление этих негативных последствий обеспечивалось применением комплекса химических мелиорантов (20-40 т/га сухого вещества птичьего помета, 10 т/га сыромолотого доломита и 70-140 кг/га калия). Лучший результат (28,5-44,2 т/га зеленой массы) достигался на фоне полученного из дерново-кустарниковой растительности биоугля, обеспечившего прибавку продуктивности до 58%. На второй культуре положительный эффект сочетания мелиорантов со всеми продуктами переработки древесной биомассы был стабильным. Прибавка урожайности зеленой массы трав от применения комплекса мелиорантов составила 79% в прямом действии и 27% в последствии.

Заделка в почву продуктов переработки древесно-кустарниковой растительности ухудшала кормовую ценность зеленой массы трав. Заметное улучшение комплекса качественных показателей (увеличение содержания сырого протеина на 77 %, фосфора – на 21, калия – на 17 и кальция – на 19 %) обеспечивало применение мелиорантов.

Литература

1. Люри Д.И., Горячкин С.В., Караваева Н.А., Денисенко Е.А., Нефедова Т.Г. Динамика сельскохозяйственных земель России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв. – М.: ГЕОС, 2010. – 412 с.
2. Иванов А.И., Янко Ю.Г. Мелиорация как необходимое средство развития сельского хозяйства Нечерноземной зоны России // *Агрофизика*. – 2019. – № 1. – С. 67-78.
3. Скворцова Е.Б., Баранова О.Ю., Нумеров Г.Б. Изменение микростроения почв при зарастании пашни лесом // *Почвоведение*. – 1987. – № 9. – С. 101-109.
4. Баева Ю.И., Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Почикалов А.В., Кудяров В.Н. Физические свойства и изменение запасов углерода серых лесных почв в ходе постагрогенной эволюции (юг Московской области) // *Почвоведение*. – 2017. – № 3. – С. 345-353.
5. Методика эффективного освоения разновозрастных залежей на основе многовариантных технологий под пастбища и сенокосы и очередности возврата их в пашню в Нечерноземной зоне РФ. – М.: ВНИИ кормов им. В.Р. Вильямса, 2017. – 64 с.
6. Борцов Т.С., Гинтовт И.А. Культуртехника в Нечерноземной зоне. – М.: Колос, 1981. – 253 с.
7. Новиков С.А., Шевченко В.А., Соловьёв А.М., Фирсов И.П., Гаспарян И.Н. Эффективные приемы окультуривания залежных земель в Нечерноземной зоне России. – М.: Росинформагротех, 2014. – 44 с.
8. Орлова О.И. Культуртехнические работы: расчистка и восстановление залежных земель от древес-

- но-кустарниковой растительности // Карельский научный журнал. – 2015. – № 3 (2). – С. 106-108.
9. Овчинников А.С., Бородычев В.В., Шуравилин А.В., Семенов Н.А. Освоение долголетней залежи под сеяные злаковые травы при прямой записке кустарниковой и лесной растительности // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. – 2017. – № 3 (47). – С.1-12.
 10. Васильев С.М., Гулюк Г.Г., Домашенко Ю.Е., Митяева Л.А. Технологические схемы удаления древесно-кустарниковой растительности при проведении культуртехнических работ // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2018. – № 4 (32). – С. 126-145.
 11. Гулюк Г.Г., Семенов Н.А., Шуравилин А.В., Сурикова Н.В. Освоение долголетней залежи при возделывании сеяных злаковых трав // Мелиорация и водное хозяйство. – 2017. – № 4. – С. 19-23.
 12. Кудяров В.Н. Почвенно-биогеохимические аспекты состояния земледелия в Российской Федерации // Почвоведение. – 2019. – № 1. – С. 109-121.
 13. Minasny B. et al. Soil 4 per mille // Geoderma. – 2017. – V. 292. – P. 59-86.
 14. Рижия Е.Я., Бучкина Н.П., Мухина И.М., Белинец А.С., Балашов Е.В. Влияние биоугля на свойства образцов дерново-подзолистой супесчаной почвы с разной степенью окультуренности (лабораторный эксперимент) // Почвоведение. – 2015. – № 2. – С. 211-220.
 15. Рижия Е.Я., Мухина И.М., Вертебный В.Е., Хорак Я., Конончук П.Ю., Хомяков Ю.В. Ферментативная активность и эмиссия закиси азота из дерново-подзолистой супесчаной почвы с биоуглем // Сельскохозяйственная биология. – 2017. – Т. 52. – № 3. – С. 464-470.
 16. Литвинович А.В., Хамам А.А.М., Лаврищев А.В., Павлова О.Ю. Мелиоративные свойства и удобрительная ценность различных по размеру фракций биоугля (по данным лабораторных экспериментов) // Агрохимия. – 2016. – № 9. – С. 39-46.
 17. Литвинович А.В. Постагрогенная эволюция хорошо окультуренных дерново-подзолистых почв Северо-Запада Нечерноземной зоны // Агрохимия. – 2009. – №7. – С. 85-93.
 18. Иванов А.И., Воробьев В.А., Иванова Ж.А. Современные деградационные процессы в хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах // Проблемы агрохимии и экологии. – 2015. – № 3. – С. 15 – 19.
 19. Иванов А.И., Иванова Ж.А., Воробьев В.А., Цыганова Н.А. Агроэкологические последствия длительного использования дефицитных систем удобрения на хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах // Агрохимия. – 2016. – № 4. – С. 10-17.
 20. Рылов В.Н., Стариков Х.Н. Основы современной культуртехники. – М.: Колос, 1973. – 252 с.
 21. Скурдянис В.А. Опыт культуртехнических работ. – М.: Знание, 1979. – 64 с.

Поступила в редакцию 26.06.19

После доработки 30.10.19

Принята к публикации 10.11.19

Животноводство

УДК 636.2.054:575.162

DOI:10.31857/S2500-2627-2020-2-53-57

**ПОЛИМОРФИЗМ ГЕНА СОМАТОТРОПНОГО ГОРМОНА
В СВЯЗИ С КАЧЕСТВОМ ТУШ МЯСНОГО СКОТА**

Т.А. Седых¹, кандидат сельскохозяйственных наук,
Р.С. Гизатуллин¹, доктор сельскохозяйственных наук, **И.Ю. Долматова¹**, доктор биологических наук,
И.В. Гусев², кандидат биологических наук, **Л.А. Калашникова³**, доктор биологических наук

¹Башкирский государственный аграрный университет,
 450001, Уфа, ул. 50-летия Октября, 34

²Федеральный научный центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста,
 142132, Московская область, Дубровицы, 60

³Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела,
 141212, Московская область, Лесные Поляны, ул. Ленина
 E-mail: nio_bsau@mail.ru

Поскольку мясная продуктивность и качество мяса определяются как паратипическими, так и генетическими факторами, оценка генетического материала на наличие желательных аллельных сочетаний генов, связанных с мясными качествами животных, имеет определенную научно-практическую значимость. Целью исследования явилось определение взаимосвязи полиморфизма гена гормона роста с качеством туш мясного скота. Научно-хозяйственный опыт проводился в 2014–2017 гг. Методом полимеразной цепной реакции с последующим анализом полиморфизма длин рестрикционных фрагментов (SNP GH-L127V) генотипированы бычки на откорме герефордской (115 голов) и лимузинской (114 голов) пород. В ходе исследования у бычков определено сходное распределение генотипов, чаще встречается гомозиготный генотип GH^{LL} (47,83% и 52,63%) и аллель GH^L (0,69% и 0,71%). Установлено, что бычки с генотипом GH^{LL} достоверно опережали животных с генотипом GH^{LV} по предубойной живой массе, массе парной туши, убойной массе, площади мышечного глазка, а у герефордского скота – и по убойному выходу. Результаты исследования морфологического состава полутуши дают представление о высоком влиянии SNP GH-L127V на массу охлажденной туши и содержание мякоти. По этим показателям полутуши, полученные от бычков с генотипами GH^{LL} и GH^{LV}, достоверно превосходили полутуши, полученные от бычков GH^{LV}. Анализ данных массы и выхода естественно-анатомических частей полутуши, полученных от бычков различных генотипов герефордской и лимузинской пород, не выявил достоверной разности между показателями. Однако отмечено, что животные обеих пород с генотипом GH^{LL} имели более высокую массу охлажденной полутуши и ее естественно-анатомических частей, чем животные с генотипом GH^{LV}. Таким образом, генотипирование по SNP GH-L127V в качестве дополнительного критерия может быть использовано при отборе и подборе животных с целью улучшения мясных качеств крупного рогатого скота.

**GROWTH HORMONE GENE POLYMORPHISM IN RELATION
TO BEEF CATTLE CARCASS QUALITY**

**Sedykh T.A.¹, Gizatullin R.S.¹, Dolmatova I.Yu.¹, Gusev I.V.²,
 Kalashnikova L.A.³**

¹Bashkir State Agrarian University,
 450001, Ufa, ul. 50-letiya Oktyabrya, 34

²Federal Science Center for Animal Husbandry,
 142132, Moskovskaya oblast, Dubrovitsy, 60

³All-Russian Breeding Research Institute,
 141212, Moskovskaya oblast, Lesnye Polyany, ul. Lenina
 E-mail: nio_bsau@mail.ru

Meat productivity and meat quality are determined by both paratypical and genetic factors. In this regard, evaluating genetic material for the presence of desirable allele combinations of genes associated with growth and development indicators, as well as meat qualities of animals has a certain scientific and practical significance. The aim of the study was to determine the relationship between growth hormone gene polymorphism and beef cattle carcass quality. A scientific and economic experience was conducted in the period from 2014 to 2017. Fattening bull calves of Hereford (115 heads) and Limousine (114 heads) breeds were genotyped by the polymerase chain reaction method followed by a subsequent analysis of the restriction fragment length polymorphism (SNPGH-L127V). During the study, there was found a similar distribution of genotypes with homozygous GH^{LL} genotype (47.83% and 52.63 %) and GH^L allele (0.69% and 0.71%) being most common. Pre-slaughter live weight of GH^{LL} genotyped bull calves found to be reliably higher than that of GH^{LV} genotyped animals. Carcasses of this genotype bulls significantly exceeded in hot steam carcass and slaughter weight; carcass-weight; loin eye area. Hereford cattle was also dominant in slaughter yield. The research results of the morphological composition of half-carcasses proved the high impact of SNPGH-L127V on the weight of chilled carcasses and the meat content. According to the indices, half-carcasses of GH^{LL} and GH^{LV} genotyped bull calves excelled significantly half-carcasses of GH^{LV} animals. Analysis of the weight and yield of the natural anatomical parts of half-carcasses of different genotyped Hereford and Limousin breeds did not reveal a significant difference between the indicators. However, animals of both breeds with GH^{LL} genotype had higher weight of chilled carcasses and their natural anatomical parts than animals with GH^{LV} genotype. Thus, SNPGH-L127V genotyping can be used as an additional criterion in selecting and choosing animals to improve the meat quality of cattle.

Ключевые слова: полиморфизм, ген соматотропного гормона, качество туш, герефордская порода, лимузинская порода

Key words: polymorphism, growth hormone gene, the quality of carcasses, Hereford, Limousine breed

Для откормочного поголовья молодняка крупного рогатого скота важным показателем является живая масса животного, которая обусловлена, в числе прочих

факторов, функцией гормона роста – соматотропина. Соматотропин непосредственно участвует в обмене белков, углеводов, жиров и служит важным регулято-

ром соматического роста организма. Результаты исследований зарубежных и отечественных ученых свидетельствуют о том, что генотипирование животных по гену соматотропного гормона (*GH*) позволяет установить генетический потенциал мясной продуктивности по следующим показателям: динамика и приросты живой массы, масса туши, выход мяса, мраморность мяса [1-4]. Так, нуклеотидная замена GH^C на GH^G в 5-ом экзоне гена *GH*, ведущая к аминокислотной замене *Leu* на *Val*, ассоциирована с приростом живой массы и в мышечной ткани. Установлено, что бычки, гомозиготные по первому аллелю GH^{CC} (GH^{LL}), превосходят по живой массе сверстников генотипов GH^{CG} (GH^{LV}) и GH^{GG} (GH^{VV}), имеют меньшую мраморность мяса, по сравнению с животными генотипа GH^{GG} (GH^{VV}), мраморность мяса у которых ярко выражена [5,2,6].

В связи с этим, не меньшую актуальность приобретают вопросы изучения убойных качеств, в том числе морфологического состава полутуш и выхода их естественно-анатомических частей, у молодняка специализированных мясных пород скота разных генотипов по гену соматотропного гормона.

Целью исследований явилось определение взаимосвязи полиморфизма гена гормона роста *SNP GH-L127V* с качеством туш мясного скота. В задачи исследований входило: генотипирование бычков герефордской и лимузинской пород по гену соматотропного гормона; оценка убойных качеств туш, изучение морфологического состава и выхода естественно-анатомических частей полутуш.

Методика. Для генотипирования по гену гормона роста были отобраны бычки герефордской и лимузинской пород. Бычки герефордской породы в количестве 115 голов являлись потомками (вторая и третья отечественная генерация) животных, завезенных в 2009 г. в ООО «САВА-Агро-Усень» из Австралии. Бычки лимузинской породы в количестве 114 голов – потомки (четвертое поколение) животных, полученных в ООО «САВА-Агро-Япрык» путем поглотительного скрещивания симментальского скота с быками-производителями французской селекции. Оба хозяйства расположены в Туймазинском районе Республики Башкортостан, используют стойлово-пастбищную технологию со-

держания мясного скота с репродукцией по системе «корова-теленки» и элементами ресурсосбережения, являются племенными заводами, а также содержат откормочный контингент для производства говядины.

Генотипирование животных проводилось в лаборатории ДНК-технологий Всероссийского научно-исследовательского института племенного дела и в лаборатории молекулярной генетики Башкирского государственного аграрного университета. Выделение ДНК проводили общепринятыми методами [7]. Полиморфизм гена *GH* выявляли методом полимеразно-цепной реакции с последующим анализом полиморфизма длин рестриционных фрагментов (ПЦР-ПДРФ) с использованием праймеров: F: 5'-tag-ggg-agg-gtg-gaa-aat-gga-3'; R: 5'-gac-acc-tac-tca-gac-aat-gcg-3'. При проведении ПЦР (30 циклов) применяли температуру отжига 58 °С. Полученные амплификаты гена расщепляли эндонуклеазой *AluI*. Число и длину полученных фрагментов рестрикции определяли электрофоретически в 7,5%-ном ПААГе в УФ-свете после окрашивания бромистым этидием. Для анализа гелей применяли геледокументирующую систему Gel Doc XR и прилагаемое к ней программное обеспечение Image Lab версия 2.0 «DNA-analyser». Размеры рестриционных фрагментов: GH^{LL} – 185,132,51,36 пн; GH^{LV} – 236,185,132,51,36 пн; GH^{VV} – 236,132,36 пн. Частоту встречаемости аллелей и генотипов определяли по Меркурьевой Е.К. (1991).

В конце откорма, перед отправкой на убой, из бычков каждой породы методом аналогов по живой массе и развитию были сформированы по три группы с различными генотипами по гену *GH*. Животные, гомозиготные по первому аллелю, вошли в I группу (n=10), гетерозиготные – во II (n=10), гомозиготные по второму аллелю – в III (n=5). Убой в возрасте 20 мес проводился в условиях мясокомбината САВА, где определялись показатели качества туш по ГОСТ 33818-2016: «Мясо. Говядина высококачественная. Технические условия».

Статистическую обработку результатов проводили стандартным методом с использованием программного приложения «Excel» из пакета «Microsoft Office».

Результаты и обсуждение. Распределение генотипов по гену *GH* у животных исследуемых мясных по-

Табл. 1. Морфологический состав полутуш бычков различных генотипов по гену *GH*

Показатель	Герефордская порода			Лимузинская порода		
	LL	LV	VV	LL	LV	VV
Масса охлажденной полутуши, кг	165,10±1,16**	160,50±0,98*	153,20±1,65	175,80±0,85*	170,60±1,06*	164,10±2,81
В том числе: мякоть, кг	121,40±0,86**	117,40±0,69*	115,50±0,83	129,70±0,72*	125,10±0,89*	119,30±1,85
%	73,50	73,10	72,80	73,70	73,30	72,70
жир, кг	10,90±0,27	10,80±0,26	10,30±0,36	12,00±0,17	11,80±0,89	11,50±0,22
%	6,60	6,70	6,70	6,80	6,90	7,0
кости, кг	27,50±0,33	27,20±0,31	26,40±0,47	28,70±0,35	28,50±0,14	28,20±0,59
%	16,70	17,00	17,20	16,40	16,70	17,20
сухожилия и хрящи, кг	5,30±0,06	5,12±0,07	5,00±0,24	5,40±0,16	5,20±0,23	5,10±0,23
%	3,20	3,24	3,30	3,10	3,10	3,10
Коэффициент мясности	4,42	4,32	4,18	4,52	4,40	4,20

* P<0,05; ** P<0,01.

род в целом носит сходный характер. У герефордских и лимузинских бычков чаще встречается гомозиготный генотип GH^{LL} (47,83 и 52,63%), на втором месте по частоте встречаемости находится гетерозиготный генотип GH^{LV} (41,74 и 35,96%), на третьем – генотип GH^{VV} (10,43 и 11,40%). Частота встречаемости аллеля GH^L несколько выше у бычков лимузинской породы – 0,71, у герефордов она составила 0,69. Полученные данные согласуются с результатами исследований И.Ф. Горлова с соавторами (2014) [3], А.А. Шарипова с соавторами (2014) [8], А.С. Крамаренко с соавторами (2015) [1], И.С. Бейшовой с соавторами (2017) [9], Pal A. et al. (2004) [10], Curi R.A. et al. (2006) [11].

Следует отметить, что все туши, полученные от бычков разных генотипов по гену гормона роста, при оценке по ГОСТ 33818-2016 были отнесены к высшей категории В, поскольку были полными, с округлой, выпуклой, отлично развитой мускулатурой и широкие при осмотре в профиль.

Установлено, что бычки герефордской и лимузинской пород с генотипом GH^{LL} превосходили животных с генотипом GH^{VV} по предубойной живой массе на 4,95 и 4,18% ($P<0,01$). Животные с гомозиготным по первому аллелю генотипом опережали по массе парной туши на 7,00 и 6,63% ($P<0,01$), убойной массе – на 6,79 и 6,44% ($P<0,01$), убойному выходу – на 1,2% ($P<0,05$) (только герефордская порода), площади мышечного глазка – на 1,46 и 2,12% ($P<0,05$) гетерозиготный молодой.

Результаты исследования морфологического состава полутуш (табл. 1) свидетельствуют о достоверном превосходстве животных генотипа GH^{LL} над GH^{VV} по массе охлажденной полутуши и содержанию мякоти у герефордов на 7,20 и 4,86% ($P<0,01$) и у лимузинов – на 6,65 и 8,02% ($P<0,05$). Также достоверная разность ($P<0,05$) отмечена между генотипами GH^{LL} и GH^{LV} по вышеуказанным показателям у герефордских бычков

– на 2,79 и 3,29% и у лимузинских – на 2,95 и 3,34%, соответственно. Животные с генотипом GH^{LL} отличались наивысшими значениями коэффициента мясности: у бычков герефордской породы он составил 4,42, лимузинской – 4,52, что превышает аналогичный показатель у генотипов GH^{LV} и GH^{VV} на 0,1 и 0,24; 0,12 и 0,32, соответственно по породам. Данное обстоятельство свидетельствует о том, что полутуши, полученные от молодняка генотипа, гомозиготного по первому аллелю, имеют высокие мясные качества, что согласуется с результатами зарубежных ученых [11-13] и не находит подтверждения в других исследованиях [14,15].

Одним из главных послеубойных показателей качества туш, особенно у мясного скота, является содержание мякоти. В полутушах герефордских бычков оно составило 73,50-72,80%, лимузинских – 73,70-72,70%. Доля мякоти в полутушах, полученных от животных генотипа GH^{LL} , выше на 0,7 и 1,0% по сравнению с генотипом GH^{VV} , соответственно по породам.

Содержание жира в тушах, полученных от бычков различных генотипов, относительно стабильно и составляет 6,6-6,7% у герефордов и 6,8-7,0% у лимузинов. Доля костей увеличивается в направлении $GH^{LL} \rightarrow GH^{LV} \rightarrow GH^{VV}$. Доля хрящей и сухожилий в полутушах герефордского скота также увеличивается в сторону генотипа, гомозиготного по второму аллелю, в то время как в полутушах лимузинов различных генотипов этот показатель не изменяется.

Анализ массы и выхода естественно-анатомических частей и их морфологический состав позволяют в большей степени определить качественные показатели полутуш (табл. 2). Наибольшая доля в полутушах герефордов и лимузинов приходится на плече-лопаточную (19,4-19,3 и 18,9-19,0%); спинно-реберную (26,8-26,5 и 25,3-25,2%) и тазобедренную части (32,3-32,2 и 33,8-34,0%).

Масса охлажденной полутуши после зачистки

Табл. 2. Масса и выход естественно-анатомических частей полутуш бычков различных генотипов по гену GH

Показатель	Герефордская порода			Лимузинская порода		
	LL	LV	VV	LL	LV	VV
Масса охлажденной полутуши после зачистки жировых отложений всего, кг	154,2±4,01	149,5±3,97	143,2±4,88	163,9±5,12	159,2±4,05	153,1±3,79
В том числе: шейная часть, кг	13,1±0,13	13,0±0,14	12,6±0,21	13,7±0,09	13,5±0,16	12,9±0,12
%	8,5	8,7	8,8	8,4	8,5	8,4
плече-лопаточная, кг	29,9±0,12	29,0±0,30	27,6±0,11	31,0±0,18	30,0±0,13	29,1±0,09
%	19,4	19,4	19,3	18,9	18,8	19,0
спинно-реберная, кг	41,3±3,04	39,6±2,99	37,9±3,06	41,5±3,13	40,1±2,41	38,7±2,24
%	26,8	26,5	26,5	25,3	25,2	25,3
грудинка, кг	7,7±0,17	7,6±0,09	7,4±0,09	8,2±0,11	8,0±0,15	7,8±0,12
%	5,0	5,0	5,2	5,0	5,0	5,1
поясничная, кг	12,4±1,24	12,0±1,15	11,5±1,21	14,1±1,13	13,5±1,08	12,9±1,11
%	8,1	8,1	8,0	8,6	8,5	8,4
тазобедренная, кг	49,8±3,69	48,3±4,11	46,2±3,51	55,4±3,76	54,1±3,15	51,7±4,08
%	32,3	32,3	32,2	33,8	34,0	33,8

Табл. 3. Морфологический состав естественно-анатомических частей полутуш бычков разных генотипов по гену *GH*

Естественно-анатомическая часть		Герефордская порода						Лимузинская порода					
		LL		LV		VV		LL		LV		VV	
Наименование	Состав	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%
Шейная	Мякоть	11,2±0,11	7,3	10,9±0,92	7,3	10,6±0,17	7,4	11,8±0,22	7,2	11,5±0,17	7,2	10,9±0,26	7,1
	Кости	1,5±0,03	1,0	1,7±0,02	1,14	1,6±0,02	1,1	1,5±0,03	0,9	1,6±0,02	1,0	1,7±0,02	1,1
	Сухожилия	0,4±0,01	0,2	0,4±0,01	0,26	0,4±0,01	0,3	0,5±0,01	0,3	0,5±0,02	0,3	0,3±0,01	0,2
Плечелопаточная	Мякоть	22,8±0,22	14,7	22,0±0,41	14,7	20,8±0,53	14,5	23,6±0,49	14,4	22,6±1,12	14,2	21,5±0,98	14,1
	Кости	6,0±0,02	3,9	5,8±0,74	3,9	5,7±0,88	4,0	6,2±0,74	3,8	6,0±0,69	3,8	6,1±0,65	4,0
	Сухожилия	1,2±0,01	0,8	1,2±0,05	0,8	1,1±0,03	0,8	1,1±0,02	0,7	1,3±0,03	0,8	1,4±0,02	0,9
Спинно-реберная	Мякоть	32,0±1,13	20,8	30,5±2,11	20,4	29,1±2,08	20,3	32,3±3,03	19,7	30,7±1,94	19,3	29,4±1,59	19,2
	Кости	7,6±0,53	4,9	7,5±0,67	5,0	7,3±0,55	5,1	7,7±0,48	4,7	7,8±0,30	4,9	7,7±0,41	5,0
	Сухожилия	1,7±0,01	1,1	1,6±0,02	1,1	1,6±0,02	1,1	1,5±0,01	0,9	1,6±0,02	1,0	1,7±0,02	1,1
Грудинка	Мякоть	6,3±0,10	4,1	6,1±0,43	4,1	5,9±0,35	4,1	6,6±0,26	4,0	6,4±0,31	4,0	6,3±0,25	4,1
	Кости	1,1±0,05	0,7	1,0±0,07	0,7	1,1±0,05	0,8	1,3±0,07	0,8	1,1±0,04	0,7	1,2±0,05	0,8
	Сухожилия	0,3±0,02	0,2	0,3±0,01	0,2	0,4±0,01	0,3	0,3±0,01	0,2	0,4±0,02	0,3	0,3±0,02	0,2
Поясничная	Мякоть	10,6±1,29	6,9	10,3±1,15	6,9	9,7±1,16	6,8	11,8±1,34	7,2	11,5±1,28	7,2	10,9±2,11	7,1
	Кости	1,3±0,04	0,9	1,3±0,33	0,9	1,3±0,27	0,9	1,6±0,09	1,0	1,6±0,23	1,0	1,4±0,14	0,9
	Сухожилия	0,4±0,01	0,3	0,4±0,02	0,3	0,4±0,02	0,3	0,6±0,03	0,4	0,5±0,01	0,3	0,6±0,03	0,4
Тазобедренная	Мякоть	39,0±1,86	25,3	37,8±1,74	25,3	35,8±1,55	25,0	43,6±1,65	26,6	42,5±1,38	26,7	40,4±1,71	26,4
	Кости	8,8±0,27	5,8	8,7±0,42	5,8	8,5±0,35	5,9	9,8±0,41	6,0	9,6±0,17	6,0	9,3±0,38	6,1
	Сухожилия	1,9±0,08	1,2	1,8±0,06	1,2	1,9±0,05	1,3	2,0±0,05	1,2	2,1±0,12	1,3	2,0±0,04	1,3
Итого		154,2±15,42	100	149,5±8,98	100	143,2±9,11	100	163,9±14,21	100	159,2±11,67	100	153,1±13,35	100

жировых отложений у лимузинского скота генотипов GH^{LL} , GH^{LV} и GH^{VV} превышала аналогичный показатель у герефордского в среднем на 9,7-9,9 кг (5,9-6,4%). Масса наиболее ценных естественно-анатомических частей полутуш, таких как поясничная и тазобедренная, также выше у животных лимузинской породы. Выход поясничной части у лимузинов составил 8,4-8,6%, тазобедренной – 33,8-34,0%, что на 0,5-0,4 и 1,5-1,7% больше, чем у герефордов. Животные обеих пород с генотипом GH^{LL} имели более высокие показатели массы охлажденной полутуши и ее естественно-анатомических частей, чем животные с генотипом GH^{VV} . Так, у герефордского скота разница между массами отрубов, полученных от бычков вышеуказанных генотипов, составила в шейной части – 0,5 кг (3,8%); плече-лопаточной – 2,3 кг (7,6%); спинно-реберной – 3,4 кг (8,2%); грудинки – 0,3 кг (3,9%); поясничной – 0,9 кг (7,3%); тазобедренной – 3,6 кг (7,2%). Массы естественно-анатомических частей полутуш, полученных от животных гетерозиготного генотипа, имели промежуточное значение. Наибольший выход ценных частей, таких как поясничная и тазобедренная, отмечен в полутушах герефордов генотипа GH^{LL} – 8,1 и 32,3%, грудинки –

в полутушах, полученных от животных с генотипом GH^{VV} – 5,2%.

У лимузинов разница между массами отрубов, полученных от бычков гомозиготных генотипов, составила в шейной части – 0,8 кг (5,8%); плече-лопаточной – 1,9 кг (6,1%); спинно-реберной – 2,8 кг (3,5%); грудинки – 0,4 кг (4,9%); поясничной – 1,2 кг (8,5%); тазобедренной – 3,7 кг (6,7%). Массы естественно-анатомических частей полутуш, полученных от животных гетерозиготного генотипа, имели промежуточное значение. Значительный выход поясничной части (8,6%) отмечен в полутушах лимузинских бычков с генотипом GH^{LL} , тазобедренной – 34% в полутушах, полученных от животных гетерозиготного генотипа, и грудинки – в полутушах GH^{VV} – 5,1%.

Анализ морфологического состава естественно-анатомических частей полутуш (табл. 3) не выявил достоверных различий в изучаемых показателях, однако свидетельствует о содержании значительной доли мякоти в плечелопаточной, спинно-реберной и тазобедренной частях. Содержание мякоти в грудинке выше у лимузинского скота (6,6-6,3 кг) по сравнению с герефордским (6,3-5,9 кг). Однако величина выхода этого

отруба составила в полутушах животных обеих пород приблизительно одинаковое значение 4,0-4,1%. Масса поясничной части у герефордского скота (10,62-9,7 кг) меньше, чем у лимузинского (11,8-10,9 кг). Выход поясничной части в полутушах лимузинов составил 7,2-7,1%, что выше аналогичного показателя герефордов в среднем на 0,2%. Та же тенденция наблюдается в показателях массы тазобедренной части. Так, в полутушах лимузинских бычков масса вышеуказанного отруба была больше на 4,6-4,7 кг, чем в полутушах герефордов, и составила 43,6-40,4 кг, а выход тазобедренной части – 26,6-26,4%, что превышает показатель герефордов на 1,4%.

Поскольку масса охлажденной полутуши выше у животных обеих пород с генотипом GH^{LL} , показатели масс отрубов, как правило, имеют большее значение именно у бычков этого генотипа. Прослеживается тенденция увеличения массы мякоти в полутушах, полученных от герефордского скота генотипа GH^{LL} по сравнению с генотипом GH^{VV} в шейной части – на 5,7%; плечелопаточной – на 8,7%; спинно-реберной – на 9,1%; грудинке – 6,3%; поясничной – 8,7%; тазобедренной – на 8,2%; от лимузинского – на 7,6; 8,9; 9,0; 4,5; 7,6; 7,3%, соответственно в порядке перечисления показателей.

Та же тенденция присутствует в распределении показателей выхода мякоти. Так, в полутушах животных с генотипом GH^{LL} выход мякоти выше по сравнению с генотипом GH^{VV} у герефордов в плечелопаточной части на 0,2%; в спинно-реберной – на 0,5%; в поясничной – на 0,1%; в тазобедренной – на 0,3%; у лимузинов – 0,3; 0,5; 0,1; 0,2%, соответственно. Отмечено увеличение выхода мякоти на 0,1% в грудинке, полученной из полутуш скота обеих пород с генотипом GH^{VV} .

Таким образом, несмотря на отсутствие достоверной разности, наблюдается четкая тенденция ассоциации показателей массы, выхода естественно-анатомических частей полутуш и морфологического состава естественных отрубов с полиморфизмом гена гормона роста. Это связано с установленной нами ранее высокой степенью зависимости от генотипа животных таких показателей, как предубойная живая масса, масса парной туши, убойная масса, убойный выход, площадь мышечного глазка, масса охлажденной полутуши и содержание в ней мякоти. При осуществлении мероприятий селекционно-племенной работы с крупным рогатым скотом на повышение мясной продуктивности племенным и товарным хозяйствам целесообразно рассматривать генотипирование по гену GH в качестве дополнительного критерия при отборе и подборе животных.

Литература.

1. Крамаренко А.С., Гиль М.И., Гладырь Е.А., Найденова В.А., Дубинский А.Л., Зиновьева Н.А. Анализ связи полиморфизма гена гормона роста (bGH) с ростовыми показателями коров южной мясной породы // Научно-технический бюллетень Института животноводства Национальной академии аграрных наук Украины. – 2015. – №113. – С. 112-119.
2. Урядников М.В., Улубаев И.Х. Оценка аллелей и генотипов соматотропина по полиморфизму и живой массе коров черно-пестрой породы // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2011. – №3(77). – С. 80-83.
3. Горлов И.Ф., Федюнин А.А., Ранделин Д.А., Сулимова Г.Е. Полиморфизм генов bGH , $RORC$ и $DGAT1$ у мясных пород крупного рогатого скота // Генетика. – 2014. – № 50 (12). – С. 1448-1454.
4. Di Stasio L., Sartore S., Alberta A. Lack of association of $GH1$ and $POU1F1$ gene variants with meat production traits in Piedmontese cattle // Animal Genetics. – 2002. – V. 33. – P. 61-64.
5. Tatsuda K., Oka A., Iwamoto E., Kuroda Y., Takeshita H., Kataoka H., Kouno S. Relationship of the bovine growth hormone gene to carcass traits in Japanese black cattle // J. Anim. Breed. Gen. – 2008. – № 125(1). – P. 45-49.
6. Солошенко В.А., Гончаренко Г.М., Инербаев В.О. Влияние полиморфизма генов тиреоглобулина и соматотропина на интенсивность роста крупного рогатого скота // Проблемы биологии продуктивных животных. – 2011. – № 1. – С. 55-58.
7. Калашишкова Л.А., Хабибрахманова Я.А., Павлова И.Ю., Ганченкова Т.Б., Дунин М.И., Приданова И.Е. Рекомендации по геномной оценке крупного рогатого скота. – Лесные поляны: ВНИИ плем, 2015. – 35 с.
8. Шарипов А.А., Шакиров Ш.К., Юлметьева Ю.Р., Гафуров Л.И. Молекулярно-генетические аспекты селекции мясного скота по мраморности мяса // Вестник мясного скотоводства. – 2014. – №2(85). – С. 59-64.
9. Бейшова И.С., Белая Е.В., Поддудинская Т.В. Ассоциация полиморфных генов соматотропного каскада с показателями роста у скота казахской белоголовой породы // Успехи современной науки. – 2017. – №2(5). – С. 158-163.
10. Pal A., Chakravarty A.K., Bhattacharya T.K., Joshi B.K., Sharma A. Detection of Polymorphism of Growth Hormone Gene for the Analysis of Relationship between Allele Type and Growth Traits in Karan Fries Cattle // Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. – 2004. – V. 17. – P. 1334-1337.
11. Curi R.A., Palmieri D.A., Sugisawa L., Oliveira H.N., Silveira A.C., Lopes C.L. Growth and carcass traits associated with $GH1/Alu I$ and $POU1F1/Hinf I$ gene polymorphisms in Zebu and crossbred beef cattle // Genetics and Molecular Biology. – 2006. – V. 29. – P. 56-61.
12. Reis C., Navas D., Pereira M., Cravador A. Growth hormone $AluI$ polymorphism analysis in eight Portuguese bovine breeds // Archivos de Zootecnia. – 2001. – V. 50. – P. 41-48.
13. Chrenek P., Kmet J., Sakowski T., Vasicek D., Huba J., Chrenek J. Relationships of growth hormone genotypes with meat production traits of Slovak Pied bulls // Czech Journal of Animal Science. – 1998. – V. 43. – P. 541-544.
14. Silveira L.G.G., Furlan L.R., Curi R.A., Ferraz A.L.J., Alencar M.M., Regitano L.C.A., Martins C.L., Arrigoni M.B., Sugisawa L., Silveira A.C., Oliveira H.N. Growth hormone 1 gene ($GH1$) polymorphisms as possible markers of the production potential of beef cattle using the Brazilian Canchim breed as a model // Genetics and Molecular Biology. – 2008. – V. 31. – P. 874-879.
15. Pereira A.P., Alencar M.M., Oliveira H.N., Regitano L.C.A. Association of GH and $IGF-1$ polymorphisms with growth traits in a synthetic beef cattle breed // Genetics and Molecular Biology. – 2005. – V. 28. – P. 230-236.

Поступила в редакцию 09.09.19

После доработки 10.10.19

Принята к публикации 20.11.19

ОСОБЕННОСТИ РОСТА И РАЗВИТИЯ СКЕЛЕТА СИММЕНТАЛЬСКИХ И ПОМЕСНЫХ БЫЧКОВ, ВЫРАЩИВАЕМЫХ НА МЯСО

И.П. Прохоров, доктор сельскохозяйственных наук,
О.А. Калмыкова, кандидат сельскохозяйственных наук

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени
К.А. Тимирязева, 127550, Москва, ул. Тимирязевская, 49
E-mail: iprohorov@rgau-msha.ru

Изучены возрастные изменения морфологического состава туши, особенности роста и развития осевого и периферического отделов скелета и костей, их составляющих, у симментальских и помесных бычков, выращиваемых на мясо. Для проведения исследования были сформированы 3 группы животных по 15 голов в каждой. В первую (контрольную) группу были включены чистопородные бычки симментальской породы. Вторую (опытную) группу формировали из полукровного помесного молодняка, полученного при скрещивании симментальских коров с быками мясной симментальской породы немецкой селекции. В третью (опытную) группу вошли помеси симментальских коров с быками породы шароле. Шаролезские помеси обладали повышенной энергией роста, и в возрасте 12, 15 и 18 месяцев их живая масса достигла соответственно 431,9; 523,4 и 620,6 кг, что на 7,8; 7,5 и 10,2% больше, чем у сверстников материнской породы. Помесный молодняк обеих групп отличался лучшим морфологическим составом туши, опережая чистопородных симменталов по массе мякотной части туши во все возрастные периоды. Возрастные изменения абсолютной и относительной массы костяка туши бычков обусловлены различной интенсивностью роста костей осевого и периферического отделов скелета. В постнатальный период интенсивность роста осевого отдела скелета повышалась, а периферического – снижалась. Неравномерность развития указанных отделов скелета обусловлена различной интенсивностью роста отдельных костей и их комплексов. Наибольшая интенсивность роста характерна для ребер и позвоночника, а наименьшая – для грудных и тазовых конечностей. Интенсивность роста костей проксимальных отделов конечностей превышает таковую дистальных отделов. Возрастные различия скорости роста отдельных частей скелета приводят к изменениям соотношения между линейными размерами тела бычков.

PECULIARITIES OF SKELETON GROWTH AND DEVELOPMENT IN SIMMENTHAL AND CROSSBRED BULL-CALVES REARED FOR BEEF

Prohorov I.P., Kalmykova O.A.

Russian State Agrarian University – MSHA named after K.A. Timiryazev,
127550, Moskva, ul. Timiryazevskaya, 49
E-mail: iprohorov@rgau-msha.ru

Carcasses morphological composition age differences, peculiarities of axial and peripheral sections growth and development of skeleton and bones, comprising them in Simmental and crossbred bull-calves reared for beef, have been studied in this article. Three groups of animals of 15 heads in each were formed to do a research. Purebred bull-calves were included in the first (control) group of Simmental bull-calves. Crossbred bull-calves obtained from crossing Simmental cows with Simmental beef breed bulls of German breeding were included in the second (experimental) group. Crossbreeds of Simmental cows with Charollais bulls were included in the third experimental group. Charollais crossbreeds possess higher energy growth, and at the age of 12, 15 and 18 months their live weight reached respectively 431.8; 523.4 and 620.6 kg, which is by 7.5% and 10.2% higher than in their age mates of mother breed. Crossbred young animals of both groups were characterized by better morphological composition of carcasses, surpassing purebred Simmentals in meat content mass during all age periods. Age changes of absolute and relative mass of carcasses skeleton in bull-calves are due to various growth rate of bones in axial and peripheral sections of skeleton. During postnatal period the growth rate of skeleton axial section rises whereas peripheral section growth rate decreases. Discontinuity of these skeleton sections development is due to different growth rate of separate bones and their complexes. The highest growth rate is observed in ribs and backbone, whereas the lowest growth rate is observed in chest and pelvic limbs. Growth rate of proximal section bones limbs exceeds that of distal sections. Age differences of separate skeleton sections growth rate result in ratio changes between linear sizes of bull-calves bodies.

Ключевые слова: симментальская порода, шароле, мясная продуктивность, морфологический состав туши, скелет, кости

Key words: Simmental breed, Charollais, meat productivity, morphological composition of a carcass, skeleton, bones

Одним из наиболее эффективных методов увеличения производства говядины и улучшения ее качества, создания товарных мясных стад является использование промышленного скрещивания коров молочного и комбинированного направления продуктивности с быками специализированных мясных пород [1,2]. При скрещивании происходит наиболее быстрое изменение наследственности, что ведет за собой перестройку конституциональных и физиологических особенностей помесей. Эффективность скрещивания во многом зависит от используемого исходного материала, поэтому при подборе пород для промышленного скрещивания необходимо тщательно учитывать хозяйственно-полезные признаки каждой из них [2-5].

Молочно-мясная симментальская порода представлена в нашей стране большими массивами животных,

характеризуется широким ареалом распространения, с ней ведется селекционная работа, направленная на увеличение как молочной, так и мясной продуктивности. И в России, и за рубежом выведены внутривидовые мясные типы симменталов [6,7]. Промышленное скрещивание симментальских коров с быками мясных пород позволяет получить скороспелое помесное потомство [8,9].

Оценка мясной продуктивности крупного рогатого скота проводится на основе количественных и качественных показателей, среди которых одним из ведущих является морфологический состав туши животного, определяющийся соотношением мышечной, жировой, костной и соединительной тканей. При производстве говядины стремятся получать животных с высоким выходом съедобной части туш при мини-

мальном содержании костяка [10,11]. В тоже время известно, что интенсивное развитие мускулатуры возможно, если костяк имеет достаточную поверхность для ее прикрепления. Из этого следует, что долю скелета можно снижать лишь до определенного предела, поскольку мясным животным требуется костяк с оптимальной площадью как для прикрепления и поддержания мускулатуры, так и для локомоции [12,13]. На росте скелета базируется формирование общих размеров туловища животных в онтогенезе, его величина и форма определяют длину, высотные и широтные промеры организма [14]. Кости животных современных скороспелых мясных пород шире и короче, что способствует развитию и наращиванию мощной мускулатуры. Большая ширина холки, спины и поясницы у них связана с особым строением позвонков и относительно короткими остистыми отростками [15].

Цель настоящих исследований – изучение возрастных изменений морфологического состава туш, особенностей роста и развития осевого и периферического отделов скелета и костей, их составляющих, у симментальских и помесных бычков, выращиваемых на мясо.

Методика. Работа выполнена в Тульском НИИСХ – филиале Федерального исследовательского центра «Немчиновка». Для проведения исследования были сформированы 3 группы бычков по 15 голов в каждой. Комплектование групп проводили методом пар-аналогов с учетом происхождения, возраста и массы при рождении. В первую (контрольную) группу были включены чистопородные бычки симментальской породы. Вторую (опытную) группу формировали из полукровного помесного молодняка, полученного при скрещивании симментальских коров с быками мясной симментальской породы немецкой селекции. В третью (опытную) группу вошли помеси симментальских коров с быками породы шароле. Выбор пород, задействованных в настоящих исследованиях, базировался на практических потребностях отдела животноводства Тульского НИИСХ, в котором назрела необходимость создания товарного мясного стада на основе имеющегося маточного поголовья симментальской породы молочно-мясного направления продуктивности.

Молодняк всех групп выращивался от рождения до 18-месячного возраста в одинаковых условиях кормления и содержания. Телят от рождения до отъема в 7-месячном возрасте выращивали по технологии мясного скотоводства. Содержание коров с телятами до второй половины мая было стойловым, до октября месяца – пастбищным. После отъема от матерей молодняк был переведен на привязное содержание. Уровень кормления животных был интенсивным и рассчитан по нормам ВИЖ для получения среднесуточных приростов 1000-1100 г и достижения живой массы в возрасте 18 месяцев 550-600 кг. Учет потребленного корма проводили еженедельно путем взвешивания заданных кормов и их остатков. Прирост живой массы бычков контролировали путем ежемесячного взвешивания.

Контрольные убои были проведены на Тульском мясокомбинате. При рождении было убито по 1 бычку из каждой группы, в возрасте 6, 12 и 15 месяцев – по 3 головы, в 18 месяцев – по 5 голов. Для определения закономерностей роста и развития скелета кости после тщательного их очищения взвешивали с точностью до 1 г. Определяли суммарную массу позвоночника, ребер. Каждую кость конечностей и грудную кость взвешивали отдельно. Динамику возрастных изменений костяка изучали путем определения абсолютной

и относительной массы, вычислением коэффициентов роста, как отношения массы скелета и его отделов в определенные возрастные периоды к таковым у новорожденных бычков.

Результаты и обсуждение. Выращивание бычков в подсосный период по технологии мясного скотоводства и высокий уровень кормления в последующие возрастные периоды обеспечили интенсивный рост молодняка всех групп. Шаролезские помеси обладали повышенной энергией роста, и в возрасте 12, 15 и 18 месяцев их живая масса достигла соответственно 431,9; 523,4 и 620,6 кг, что на 7,8; 7,5 и 10,2% больше, чем у сверстников симментальской породы. Различия по величине этого показателя между бычками 1 и 2 групп во все возрастные периоды были незначительны.

Результаты морфологических исследований показали, что масса туш бычков с возрастом увеличивалась за счет более интенсивного роста мякотной части и в меньшей степени – за счет костяка. Так, абсолютная масса мякотной части туш шаролезских помесей в возрасте 12, 15 и 18 месяцев составила 186,2; 244,6 и 286,0 кг, соответственно, что на 16,2; 17,8 и 20,6% выше, чем у сверстников материнской породы ($P<0,01$ – $P<0,001$). Различия в массе мякотной части туш между бычками 1 и 2 групп в указанные возрастные периоды составили 14,3; 23,8 ($P<0,05$) и 25,8 кг ($P<0,01$) в пользу последних.

По мере роста и развития подопытных бычков абсолютная масса скелета туш увеличивалась (табл. 1), а относительная масса – снижалась. Интенсивность роста костяка туш животных сравниваемых групп в течение опытного периода была практически одинаковой. Так, кратность увеличения массы скелета в возрасте 12 и 18 месяцев составила в группах в порядке возрастания их номеров 6,16; 6,17; 5,59 и 7,22; 7,38; 6,58.

Возрастная динамика среднесуточных приростов массы скелета имела тенденцию к снижению по мере взросления животных и торможения ростовых процессов в организме. Если уровень среднесуточных приростов костяка туш бычков в возрастном диапазоне от рождения до 6 месяцев находился в пределах 118-122 г, то от 6 до 12 месяцев величина этого показателя снизилась до 85-91 г, а в последние 3 месяца опытного периода – до 65-82 г.

При изучении закономерностей индивидуального развития бычков в постнатальный период невозможно обойти вниманием регулирование ростовых процессов в эмбриональный период, поскольку именно тогда происходит наиболее интенсивный рост костяка. Для выживания новорожденных телят развитие костяка и мускулатуры в эмбриональный период онтогенеза

Табл. 1. Возрастная динамика массы скелета туш бычков, кг

Возраст, мес	Группа		
	1	2	3
При рождении	7,44	7,34	8,30
6	29,2±0,4	29,8±0,3	30,6±0,5
12	45,8±0,7	45,3±0,6	46,4±0,8
18	53,7±0,9	54,2±1,0	54,6±0,9

должно быть завершено в такой степени, чтобы сразу после рождения они были способны выполнять свои функции движения. Достаточная развитость костной ткани и мускулатуры конечностей новорожденных телят позволяет им бегать за матерью, принимать устойчивое положение при сосании.

О характере и интенсивности роста скелета плода в пренатальный период онтогенеза можно судить по морфологическому составу туш новорожденных бычков. У них относительная масса костяка была наибольшей и находилась в пределах 31,9-32,8%. По мере роста и развития животных величина указанного показателя закономерно снижалась и в возрасте 6 и 12 месяцев составила в среднем 21,9-23,4 и 18,8-21,5%, а в конце опытного периода – 16,2-18,6%.

Анализ возрастных изменений абсолютной массы отдельных костей и их комплексов, а также определение интенсивности роста методом расчета коэффициентов роста показал, что напряженность их роста на разных этапах постнатального онтогенеза существенно различалась. Рассмотрим эту динамику на примере животных 3 группы (симментал х шароле-ских помесей).

У новорожденных телят основная масса костяка приходилась на периферический скелет – 5,14 кг или 61,7%, самым крупным костным образованием которого была тазовая конечность (3,178 кг). По мере взросления животных удельный вес периферического скелета снижался до уровня 54,6; 53,7 и 51,1% в возрасте 6, 12 и 18 месяцев. Осевой скелет в постэмбриональный период развития животных, напротив, интенсивно растет, увеличивая свою долю с 38,3% у новорожденных бычков до 45,4; 46,28 и 48,89% в 6-, 12- и 18-месячном возрасте. Самым крупным костным образованием у полугодовалых животных остается тазовая конечность (16,839 кг), и практически приближается к ней масса позвоночника (15,004 кг).

Коэффициенты роста позвоночника и ребер шароле-ских помесей в возрасте 6, 12 и 18 месяцев были более высокими и составили соответственно 3,9; 6,1; 7,5 и 5,3; 8,0; 10,1 раз, то грудной и тазовой конечностей – только 3,4; 5,1; 5,7 и 3,2; 4,7; 5,3 раза (рис. 1).

Интенсивность роста костяка проксимального отдела конечностей превышает таковую дистального отдела. Так, кратность увеличения массы лопатки и тазовой кости скелета туш помесей 3 группы в указанные возрастные периоды составила соответственно 4,04 и 4,43; 6,51 и 7,39; 8,12 и 8,86, а таковая бедренной кости и голени – 3,32 и 2,28; 4,97 и 4,00; 5,58 и 4,26 раз.

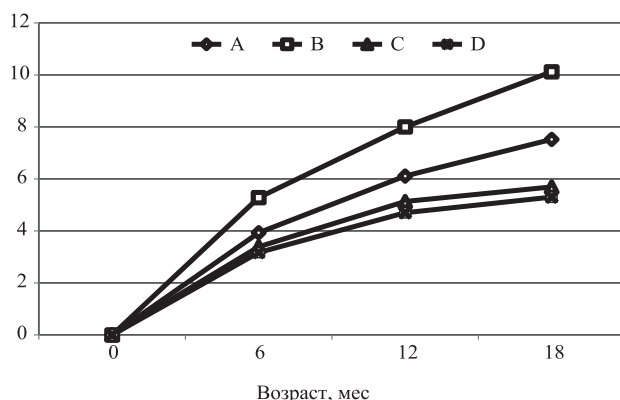


Рис. 1. Коэффициенты роста: позвоночника (A), ребер (B), грудной (C) и тазовой конечностей (D) шароле-ских помесей.

Табл.2. Относительная масса костей туш шароле-ских помесных бычков, %

Костный комплекс, кость	Возраст, мес			
	при рождении	6	12	18
Осевой скелет	38,28	45,50	46,28	47,83
В том числе: позвоночник	24,04	25,64	26,26	26,72
ребра	12,46	17,83	17,84	18,93
грудина	1,78	2,02	2,17	2,21
Грудная конечность	23,44	21,53	21,52	20,77
В том числе: лопатка	4,15	4,54	4,83	5,09
плечевая	8,90	8,58	8,41	7,97
предплечье	8,31	6,90	6,62	6,16
запястье	2,08	1,68	1,64	1,55
Тазовая конечность	38,28	32,97	32,21	31,40
В том числе: таза	6,23	7,49	8,23	8,37
бедренная	13,65	12,28	12,13	11,82
голень	9,79	7,65	7,01	6,55
коленная чашка	0,89	1,01	0,77	0,71
скакательный сустав	7,72	4,54	4,06	3,94
Периферический скелет	61,72	54,50	53,72	52,17
Скелет туш	100,00	100,00	100,00	100,00

Наиболее наглядна динамика относительной массы костей туш бычков (табл. 2). Интенсивный рост в постэмбриональный период характерен для осевого скелета животных. Если у новорожденного молодняка их удельный вес составлял 38,28%, то к 18-месячному возрасту доля этого костного комплекса в общей массе скелета приблизилась к 47,83%.

В свою очередь, кости периферического скелета в постнатальном онтогенезе формировались с меньшей интенсивностью. Относительная масса грудной и тазовой конечностей по мере взросления животных снижалась и к завершению откорма составляла 20,77 и 31,40%, против 23,44 и 38,28% у новорожденного молодняка. Коэффициенты роста осевого и периферического отделов скелета за период опыта составили, соответственно, 8,40 и 5,45, среднесуточные приросты – 43,0 г и 41,6 г.

Установленные различия в интенсивности роста различных отделов скелета приводят к изменениям соотношения между ними, вследствие чего изменяются линейные размеры тела и пропорции телосложения бычков. Об этом свидетельствуют возрастные изменения индексов телосложения подопытных животных. Например, величина индекса длинноноготности у шароле-ских помесей снизилась с 65,4% при рождении до

53,6 и 46,6% в возрасте 6 и 12 месяцев, соответственно. Индекс растянутости, напротив, увеличился и в указанные возрастные периоды составил 93,4; 105,4; 114,9%. Относительно высокая величина индекса длинноности у новорожденных бычков, по сравнению с последующими возрастными периодами, свидетельствует о разности конечностей относительно других статей тела.

Таким образом, скрещивание симментальских коров с быками мясной симментальской и шаролежской пород ведет к получению помесного молодняка с высокой энергией роста, дающих туши с лучшим морфологическим составом. Возрастные изменения абсолютной и относительной массы костяка туш бычков обусловлены различной интенсивностью роста костей осевого и периферического отделов скелета. В постнатальный период интенсивность роста осевого отдела скелета повышалась, а периферического – снижалась. Неравномерность развития указанных отделов скелета обусловлена различной интенсивностью роста отдельных костей и их комплексов. Наибольшая интенсивность роста характерна для ребер и позвоночника, а наименьшая – для грудных и тазовых конечностей. Интенсивность роста костей проксимальных отделов конечностей превышает таковую дистальных отделов. Установленные возрастные различия в скорости роста отдельных частей скелета приводят к изменениям соотношения между линейными размерами тела бычков, которые положительно отражаются на типе телосложения помесных животных и их мясных качествах.

Литература.

1. Дунин И.М. Племенные ресурсы специализированного мясного скотоводства – основа интенсивного производства говядины в России // *Зоотехния*. – 2018. – №2. – С.2-4.
2. Прохоров И.П. Формирование мясной продуктивности молодняка крупного рогатого скота при промышленном скрещивании: автореф. дис. ... докт. с-х. наук: 06.02.10. – М., 2013. – 33 с.
3. Амерханов Х.А., Каюмов Ф.Г. Мясное скотоводство. – М., 2016. – 315 с.
4. Мамаев И.И., Тагиров Х.Х., Юсупов Р.С., Миронова И.В. Рост, развитие и гематологические показатели бычков черно-пестрой породы и ее двух-, трехпородных помесей // *Молочное и мясное скотоводство*. – 2014. – №2. – С.2-4.
5. Тагиров Х.Х., Исхаков Р.С. Продуктивные качества молодняка черно-пестрой породы и ее помесей с либузиными // *Вестник мясного скотоводства*. – 2015. – №2 (90). – С. 39-45.
6. Сударев Н.П., Абылкасымов Д., Щукина Т.Н. Мясное скотоводство в Российской Федерации и перспективы его развития // *Зоотехния*. – 2018. – № 2. – С.24-25.
7. Солошенко В.А., Инербаев Б.О. Новое селекционное достижение – тип симментальского скота «Баганский мясной» // *Достижения науки и техники АПК*. – 2014. – №7. – С.44-45.
8. Лукьянов В.Н., Прохоров И.П. Влияние скрещивания симментальских коров с быками мясных пород на качество мяса помесного молодняка // *Главный зоотехник*. – 2017. – №9. – С. 40-49.
9. Прохоров И.П. Некоторые данные об эффективности скрещивания коров симментальской породы с быками мясных пород // *Зоотехния*. – 2011. – №3. – С.4-6.
10. Прохоров И.П., Лукьянов В.Н., Пикуль А.Н. Рост, развитие и мясная продуктивность бычков симментальской породы и ее помесей с герефордской и шаролежской // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. – 2014. – №4. – С.74-89.
11. Грикшас С.А., Шамидова М.М., Аббасов М.Р. Мясная продуктивность бычков мясных пород // *Доклады ТСХА*. – 2016. – Вып.288. – Ч. I. – С. 221-224.
12. Камилов Ф.Х., Фаршатова Е.Р., Еникеев Д.А. Клеточно-молекулярные механизмы ремоделирования костной ткани и ее регуляция // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – №7-4. – С.836-842.
13. Маслов Л.Б. Математическая модель структурной перестройки костной ткани // *Российский журнал биомеханики*. – 2013. – №2(60). – С.39-63.
14. Горлов И.Ф., Кобыляцкий П.С., Шахбазова О.П., Алексеев А.Л. К вопросу развития костной и мышечной ткани у молодняка молочных пород // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. – 2015. – №2(38). – С.120-127.
15. Батанов С.Д., Корепанова Л.В. Формирование мясной продуктивности у черно-пестрых бычков и их помесей второго поколения с герефордской породой // *Зоотехния*. – 2013. – №8. – С.20-22.

Поступила в редакцию 10.06.19

После доработки 02.09.19

Принята к публикации 15.10.19

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГОЛШТИНСКОГО КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА, РАЗВОДИМОГО НА ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ

Е.Б. Шукюрова¹, кандидат биологических наук,
Н.С. Марзанов², доктор биологических наук

¹Дальневосточный научно-исследовательский институт сельского хозяйства,
680521, Хабаровский край, Хабаровский район, с. Восточное

²Федеральный научный центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста,
142132, Московская область, Дубровицы, 60
E-mail: dvniishimgen@mail.ru

Проведены исследования групп крови крупного рогатого скота голштинской породы, разводимого в Дальневосточном федеральном округе. Установлен антигенный состав крови 6009 животных 4 популяций Хабаровского и Приморского краев, Сахалинской и Амурской областей. Проведен анализ распределения антигенных факторов, который выявил высокую частоту встречаемости во всех популяциях антигенов $A_2, G_2, G_3, Y_2, E'_2, E'_3, Q', C_p, C_2, E, W, X_2, F, J, H'$ и низкую – антигенов $Z', T_2, B', I', P', Y', B'', M, U''$ и H'' . Анализ распределения генотипов EAF-локуса выявил нарушение генного равновесия у голштинского скота Сахалинской области, Хабаровского и Приморского краев. Обнаружен высокий уровень генетического сходства между популяциями Приморского края и Сахалинской области, что обусловлено использованием схожего генетического материала при формировании стад. Наибольшим генетическим своеобразием обладает популяция голштинов Хабаровского края, что связано с условиями ее формирования и методами разведения. Полученные результаты могут служить ориентиром для поиска перспективных методов разведения животных и составления планов по племенной работе.

THE GENETIC CHARACTERISTIC OF THE HOLSTEIN CATTLE BREEDING IN THE FAR EAST

Shukyurova E.B.¹, Marzanov N.S.²

¹Far East Research Institute of Agriculture
680521, Khabarovskij kraj, Khabarovskij rajon, s. Vostochnoe

²Federal Science Center for Animal Husbandry,
142132, Moskovskaya oblast, Dubrovitsy, 60
E-mail: dvniishimgen@mail.ru

The researches of blood groups of Holstein cattle breeding in the Far-Eastern federal district have been done. The antigen composition of blood of 6009 ani-mals of 4 populations of Khabarovsk territory, Primorye, Sakhalin and Amursk districts is defined. The analysis of distribution of distribution of antigen factors, bringing out the high frequency of antigens meeting in all populations $A_2, G_2, G_3, Y_2, E'_2, E'_3, Q', C_p, C_2, E, W, X_2, F, J, H'$ and low – of antigens $Z', T_2, B', I', P', Y', B'', M, U''$ and H'' has been made. The analysis of distribution of genotypes EAF-locus showed the violation of gene balance in the three populations of Holsteincattle: Sakhalin district, and Primorye. The high level of the genetic likeness between the populations of Primorye and Sakhalin district is discovered, which is due to the use of similar genetic material in the formation of herds. The Holstein population of Khabarovsk territory has the most genetic originality. It is connected with the conditions of its forming and the breeding methods. The results of the researches may serve as landmark for the search of perspective crosses of animals and planning the breeding work.

Ключевые слова: голштинский крупный рогатый скот, группы крови, эритроцитарные антигены, генное равновесие, генетическое сходство, генетическая дистанция, дендрограмма

Key words: holstein cattle, blood groups, erythrocytes antigens, gene balance, genetic likeness, genetic course, dendrogramm

Решение теоретических и прикладных задач генетики сельскохозяйственных животных невозможно без использования полиморфных молекулярно-генетических маркерных систем, позволяющих проводить оценку внутри- и межвидовой генетической изменчивости, особенностей микроэволюционных процессов, протекающих под воздействием селекционно-племенной работы, выявлять информативные локусы генома, определяющие высокую продуктивность и устойчивость животных к заболеваниям [1]. Группы крови в качестве генетических маркеров используются в селекции крупного рогатого скота для контроля достоверности записей происхождения в племенных документах; для экспертизы породной принадлежности; в определении сходства и генетических различий между отдельными животными, линиями, семействами, стадами и породами; для улучшения воспроизводительных способностей; повышения уровня продуктивности; сохранения и контроля передачи в поколениях ценных генотипов [2, 3]. Кодоминантный тип наследования групп крови, неизменность их в период постэмбрионального развития, широкое разнообразие антигенных факторов позволяют различать по типу крови каждую

особь внутри популяции, породы, вида, за исключением однояйцевых близнецов, и делают их удобными маркерами при оценке степени генетического разнообразия и сходства пород [4].

Изучение частоты встречаемости антигенных факторов позволяет объективно оценивать степень однородности породы и планировать разведение так, чтобы поддерживать ее биологическое разнообразие. Анализируя распространение факторов различных систем групп крови, можно установить родство (или, наоборот, эволюционную удаленность) отдельных популяций. Учет генетического разнообразия необходим для определения эффективности селекции в данном стаде, оценки существования объективных предпосылок ее успеха, а также для контроля нарастания уровня гомозиготности [5, 6]. Результаты многих исследований указывают на заметные различия не только между породами, но и внутри одной породы крупного рогатого скота разных экологических зон разведения в частоте антигенов, аллелей, генотипов и их концентрации в пределах локуса и между локусами [7, 8]. Это является отражением особенностей селекционного процесса, методов разведения, а также связано с

историей формирования пород, которые представляют собой результат сложного взаимодействия между смежными популяциями вида, человеком и внешней средой [9]. Межпопуляционные различия всегда носят групповой характер и касаются частоты и географического распространения морфологических, физиологических и генетических признаков [6]. Генетическая характеристика популяций голштинского крупного рогатого скота показывает, что частота встречаемости антигенов групп крови из разных географических зон колеблется довольно значительно [10].

Голштинская порода является самой распространенной породой молочного скота на земном шаре. Во всем мире голштины характеризуются непревзойденными показателями молочной продуктивности и имеют хорошую приспособленность к современным индустриальным условиям содержания и доения. Особенно замечательные качества эта порода приобрела на американском континенте. В США молочная продуктивность коров достигала 11000 кг за лактацию с содержанием жира до 3,7%. В России эта порода распространена широко, в Дальневосточном федеральном округе ее разводят в Амурской и Сахалинской областях, Хабаровском и Приморском краях [11].

Цель исследований – анализ генетической ситуации по частоте эритроцитарных антигенов групп крови крупного рогатого скота голштинской породы, разводимого в племенных хозяйствах разных зон Дальнего Востока.

Методика. Материалом для исследований послужили коровы голштинской породы сельхозпредприятий Хабаровского края (2100 голов), Приморского края (303 головы), Сахалинской (2248 голов) и Амурской (1358 голов) областей. У животных определяли группы крови гемолитическими тестами с использованием 47 моноспецифических реагентов 9 генетических локусов по методике, изложенной в «Правилах генетической экспертизы племенного материала крупного рогатого скота» [12], в лаборатории иммуногенетической экспертизы Дальневосточного научно-исследовательского института сельского хозяйства.

Расчет частоты встречаемости антигенов, проверку соответствия фактического распределения генотипов EAF-локуса, определение индекса генетического сходства (r) и генетической дистанции (d), вычисление статистической ошибки индекса генетического сходства (m_r) проводили по стандартным методикам [13, 14]. Для графического отображения генетических связей между изученными группами строили дендрограмму методом невзвешенной попарной кластеризации по показателям генетических дистанций [13]. Для оценки степени соответствия фактического распределения с теоретически ожидаемым

Табл. 1. Частота встречаемости антигенных факторов групп крови у голштинского крупного рогатого скота Дальнего Востока, %

Локус	Антиген	Регион			
		Хабаровский край	Сахалинская область	Приморский край	Амурская область
EAA	A ₂	63,4*	48,2	47,5	60,7*
	Z'	0,4	0,8	0	1,2
EAB	B ₂	28,4	23,0	37,0	27,3
	G ₂	66,2*	38,0	38,0	56,3*
	G ₃	66,7*	39,0	38,9	57,4*
	I ₁	16,6	13,0	6,6*	11,1
	I ₂	23,1	24,4	10,9*	24,6
	O ₁	15,2	19,7	30,7*	19,7
	O ₂	31,9	32,5	34,3	29,2
	P	22,8*	2,8	8,25	1,8
	Q	22,8*	1,7	5,94	2,7
	T ₂	2,1	1,6	1,98	1,8
	Y ₂	74,4	51,0	58,42	68,3
	B'	0,8	7,5	6,9	2,4
	D'	12,2	13,5	12,5	10,4
	E' ₂	55,7	41,9	46,9	48,1
	E' ₃	59,3	47,2	58,4	59,8
	G'	26,1	20,3	20,8	6,2*
EAC	I'	8,6	3,9*	9,6	9,4
	J' ₂	9,9	9,7	5,6*	13,0
	K'	10,0	10,6	5,9*	13,7
	O'	25,3*	32,6	38,9	24,4*
	P'	3,5	3,8	6,9	3,8
	Q'	59,3*	38,8	40,6	51,6*
	Y'	3,5	1,9	5,6	3,2
	B''	0,4	0,6	0	1,0
	G''	25,7	27,8	21,8	14,7
	C ₁	40,1	33,2	59,7*	79,0*
	C ₂	49,7	34,5	60,4*	84,9*
	E	47,4	50,1	58,4	57,7
	R ₂	17,7	11,6	8,6	25,6
	W	21,8	37,6	46,5*	52,6*
	X ₂	80,0	60,5	58,4	76,0
	C'	25,8*	4,0	3,6	4,5
EAF	L'	11,9	11,1	11,6	9,3
	F	97,6	94,7	94,1	97,6
	V	40,1*	23,6	19,1	30,9
	J	47,7	42,8	39,6	36,0
EAL	L	26,2	38,2	34,0	35,1
EAM	M	2,0	2,3	1,3	1,0
EAS	S ₁	14,7	11,5	19,1	10,0
	U	2,2	2,7	2,0	0,7
	H'	72,5	62,9	63,7	86,4
	U'	5,9	11,7*	10,9*	5,2
	H''	2,4	8,5	3,6	3,4
	U''	1,3	3,1	2,0	2,4
EAZ	Z	54,9*	33,0	53,5*	28,7

* P < 0,001

использован метод χ^2 . Оценка достоверности разности двух выборочных средних проводилась с использованием критерия Стьюдента [15].

Результаты и обсуждение. В ЕАА-локусе групп крови отмечается высокая частота антигена A_1 во всех изученных популяциях (от 47,5% у животных Приморского края до 63,4% Хабаровского края), что отражено в таблице 1. Тем не менее, в Хабаровском крае и Амурской области у животных антиген A_2 встречался достоверно чаще ($p < 0,001$). Голштинский скот, разводимый в других регионах Российской Федерации, также характеризуется высокой частотой встречаемости A_2 -антигена (более 40%) [10, 16]. Антиген Z' в ЕАА-локусе не выявлен в популяции голштинов, разводимых в Приморском крае и очень редко встречается у голштинов остальных регионов (до 1,18%). Антиген Z' крайне редок у большинства пород крупного рогатого скота молочного направления продуктивности, за исключением джерсейской [16].

В локусе ЕАВ обнаружено 25 антигенов, из них 24 – общие для животных всех изученных популяций. Частоты встречаемости антигенов варьировали от 0 (антиген B'' в популяции Приморского края) до 74,4% (антиген Y_2 в популяции Хабаровского края). Весь обследованный голштинский скот характеризуется высокой концентрацией антигенов G_2 , G_3 , Y_2 , E'_2 и Q' . Антигены T_2 , B' , P' , Y' и B'' во всех группах встречались редко или отсутствовали. Также нехарактерными были антигены P и Q , за исключением группы голштинов из Хабаровского края, где их носителями были 22,8% животных ($p < 0,001$), что не свойственно для голштинской породы [16]. Коровы с антигенами G_2 , G_3 , Y_2 , Q' достоверно чаще встречались в Хабаровском крае и Амурской области ($p < 0,001$), и реже с антигенами B' , O' ($p < 0,001$). Антигены I_1 и I_2 у животных Приморского края выявлялись в 2,1-2,5 раза реже, чем в других дальневосточных популяциях ($p < 0,001$), а антиген O_1 , напротив, значительно чаще ($p < 0,001$). В Амурской области носителей антигена G' в 3,3-4,2 раза меньше, чем в других регионах ($p < 0,001$). На Сахалине частота встречаемости антигена I' в 2 раза ниже, чем в других популяциях ($p < 0,001$). В Приморском крае носителей антигенов J'_2 и K' достоверно больше, чем в Амурской области ($p < 0,001$).

В ЕАС-локусе групп крови определяли 8 антигенных факторов. С наибольшей частотой во всех группах встречались антигены C_1 , C_2 , E , W , X_2 , что характерно голштинского скота [10]. Отличительной чертой голштинов Приморского края и Амурской области является более высокая частота встречаемости антигенов C_1 , C_2 , W ($p < 0,001$). У животных Приморского края частота антигена R_2 самая низкая ($p < 0,001$). В Хабаровском крае носителей антигена C' в более чем пять раз больше, чем в других регионах ($p < 0,001$).

В ЕАФ-локусе выявляли 2 антигена – F и V . Частота встречаемости антигена F составила 94,1–97,6%, что характерно для большинства пород крупного рогатого скота [16]. Антиген V встречается реже. Максимальная его частота зарегистрирована в группе голштинов Хабаровского края 40,1%, ($p < 0,001$).

Во всех изученных популяциях было определено равновесие в двухаллельном

локусе групп крови ЕАФ, в котором серологически дифференцируются три генотипа (два гомозиготной и один гетерозиготной формы). Согласно материалам таблицы 2, фактические данные не во всех популяциях совпадали с теоретически установленными. У голштинов Хабаровского края равновесие нарушено вследствие недостатка гомозиготных генотипов V/V и переизбытка гетерозиготных F/V . В популяциях Сахалинской области и Приморского края нарушение генетического равновесия вызвано переизбытком гомозиготных генотипов V/V и недостатком гетерозиготных F/V . Величины χ^2 превышают стандартное значение, что указывает на нарушение равновесия.

В локусах ЕАЖ и ЕАЛ определено по одному антигену в каждой системе, достоверных различий в частоте встречаемости их не выявлено.

ЕАМ-локус представлен одним фактором M , который редко встречается у всех изученных групп голштинского скота, что характерно в целом для породы [16].

ЕАС-локус характеризуется шестью антигенами. H' -антиген выявлен во всех изученных популяциях с высокой частотой – до 86,4%. Факторы U , H'' , U'' оказались редкими, нехарактерными для дальневосточного голштинского скота. Антиген U' в два раза чаще встречался у животных Сахалинской области и Приморского края ($p < 0,001$).

ЕАЗ-локус представлен антигеном Z , который у скота Хабаровского и Приморского края встречается с высокой частотой – 54,9 и 53,5%, соответственно ($p < 0,001$).

Между изученными популяциями установлены высокие значения индекса генетического сходства – от $0,8696 \pm 0,0084$ до $0,9169 \pm 0,0141$ (табл. 3). Наибольшая величина этого показателя выявлена между животными Сахалинской области и Приморского края, наименьшая – между животными Сахалинской и Амурской областей. Высокий уровень генетического сходства указывает на общность происхождения обследованных групп голштинского скота.

Табл. 2. Частота аллелей и распределение генотипов по ЕАФ-локусу групп крови

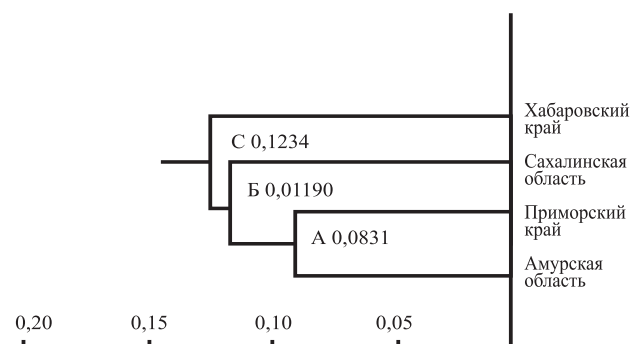
Регион	Частота аллеля	Распределение генотипов			χ^2	Р
		генотип	фактическое	ожидаемое		
Хабаровский край	$F = 0,7876 \pm 0,0063$ $V = 0,2124 \pm 0,0063$	F/F	1258	1302,7	34,0	*
		F/V	792	702,6		
		V/V	50	94,7		
		Итого	2100	2100		
Сахалинская область	$F = 0,8556 \pm 0,0052$ $V = 0,1444 \pm 0,0052$	F/F	1718	1645,6	151,6	*
		F/V	411	555,5		
		V/V	119	46,9		
		Итого	2248	2248		
Приморский край	$F = 0,8745 \pm 0,0134$ $V = 0,1254 \pm 0,0134$	F/F	245	231,7	47,6	*
		F/V	40	66,5		
		V/V	18	4,8		
		Итого	303	303		
Амурская область	$F = 0,8332 \pm 0,0072$ $V = 0,1668 \pm 0,0072$	F/F	938	942,7	0,9	**
		F/V	387	377,5		
		V/V	33	37,8		
		Итого	1358	1358		

* - Равновесие нарушено при значении $P < 0,001$;

** - равновесие не нарушено.

Табл. 3. Генетическое сходство ($r \pm m$, по вертикали) и генетическое расстояние (d , по горизонтали) между популяциями голштинского скота Дальнего Востока

Регион	Хабаровский край	Сахалинская область	Приморский край	Амурская область
Хабаровский край	-	$0,8804 \pm 0,0072$	$0,8719 \pm 0,0150$	$0,8775 \pm 0,0084$
Сахалинская область	0,1196	-	$0,9169 \pm 0,0141$	$0,8696 \pm 0,0084$
Приморский край	0,1281	0,0831	-	$0,8925 \pm 0,0150$
Амурская область	0,1225	0,1304	0,1075	-



Дендрограмма генетических расстояний.

На основании полученных показателей генетического сходства и генетической дистанции была построена дендрограмма (рис.), которая дает наглядное представление о генетических связях, сложившихся между стадами регионов в процессе селекционной работы. Анализ дендрограммы показал, что голштинские приморской и сахалинской селекции образуют один кластер, это свидетельствует об их высоком генеалогическом сходстве. Кластерный анализ наглядно показывает генетическую консолидацию групп голштинского скота Дальнего Востока, что говорит об общности его генофонда. На максимальном генетическом удалении находится скот Амурской области и Хабаровского края.

Таким образом, для крупного рогатого скота голштинской породы, разводимого на Дальнем Востоке, характерна высокая частота встречаемости антигенных факторов $A_2, G_2, G_3, Y_2, E'_2, E'_3, Q', C_1, C_2, E, W, X_2, F, J, H'$. Редко встречаются и являются нехарактерными факторы $Z', T_2, B', I', P', Y', B'', M, U''$ и H'' . В изученных группах голштинского скота Сахалинской области, Хабаровского и Приморского краев обнаружено нарушение генного равновесия в EAF-локусе групп крови, которое может являться следствием селекционной работы. Установленный высокий уровень генетического сходства между стадами указывает на общность происхождения животных и использование быков одних линий.

Полученные результаты представляют практический интерес для зоотехников-селекционеров в поисках наиболее перспективных вариантов скрещиваний, обеспечивающих проявление эффекта гетерозиса по селекционируемым признакам, т.е. могут быть использованы в выборе стратегии племенной работы.

Литература.

1. Долматова И.Ю., Гареева И.Т., Ильясов А.Г. ДНК-технологии в животноводстве // Достижения науки и техники АПК. – 2010. – № 2. – С. 42–43.

2. Кольцов Д.Н., Дмитриева В.И., Онуфриев В.А., Гонтов М.Е. Группы крови и их использование в работе со стадом ЗАО им. Мичурина // Генетика и разведение животных. – 2016. – № 4. – С. 47–51.
3. Еремينا И.Ю., Герасимова Л.А., Луценко А.Е. Ретроспективный анализ филогенеза при формировании маточной субпопуляции голштинизированного молочного скота Красноярского края // Вестник ОмГАУ. – 2016. – №2(22). – С. 100–108.
4. Данилкив Э.И. Использование генетических маркеров в селекционной племенной работе с молочным скотом // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. – 2008. – №1. – С. 32–37.
5. Новиков А.А. Рекомендации по использованию методов генетического мониторинга в селекции крупного рогатого скота и свиней. – Лесные Поляны, 2015. – 23 с.
6. Марзанов Н.С., Девришов Д.А., Марзанова С.Н., Комкова Е.А., Озеров М.Ю., Кантанен Ю. Генетическое маркирование, сохранение биоразнообразия, и проблемы разведения животных // Сельскохозяйственная биология. – 2011. – № 2. – С. 3–14.
7. Новоселова К.С., Холодова Л.В. Характеристика айрширского скота по антигенному составу групп крови // Вестник Марийского государственного университета. Серия: «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». – 2015. – С. 30–33.
8. Лобков В.Ю., Арсеньев Д.Д., Фролов А.И. Мониторинг аллелофонда ярославского скота // Вестник АПК Верхневолжья. – 2013. – № 1(21). – С. 60–63.
9. Еремينا И.Ю. Способ оценки уровня генетической дифференциации молочного скота // Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития. Материалы международной научно-практической конференции, 17–19 апреля 2018 г., Красноярск. – Ч.2. – 2018. – С. 243–248.
10. Часовщикова М.А. Характеристика коров голштинской породы разного генеза по частоте встречаемости эритроцитарных антигенов // Аграрный вестник Урала. – 2009. – №10(64). – С. 51–52.
11. Костомахин Н.М. Породы крупного рогатого скота. – М.: Колос. – 2011. – 119 с.
12. Дунин И.М., Новиков А.А., Романенко М.И., Амбросьева Е.Д., Бороздин Э.К., Калашикова Л.А. Правила генетической экспертизы племенного материала крупного рогатого скота. – М.: Росинформагротех. – 2003. – 48 с.
13. Машуров А.М., Сухова Н.О., Царев Р.О., Тхань Х.Х. Алгоритмы иммунобиохимической генетики: учеб.-метод. пособие. – Новосибирск: СО РАСХН, 1998. – 112 с.
14. Васильева Л.А. Количественные признаки (генетические свойства, методы анализа): учебное пособие. – Новосибирск: ИЦиГ СО РАН, 1999. – 127 с.
15. Васильева Л.А. Статистические методы в биологии, медицине и сельском хозяйстве. – Новосибирск, 2007. – 127 с.
16. Машуров А.М., Сухова Н.О. Фонд антигенов пород крупного рогатого скота и родственных ему видов: справ. каталог. – Новосибирск: СО РАСХН, 1994. – 125 с.

Поступила в редакцию 24.04.19
После доработки 15.06.19
Принята к публикации 21.08.19

ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ ГЕНЕТИЧЕСКОГО СХОДСТВА ПО МИКРОСАТЕЛЛИТНЫМ ЛОКУСАМ РОДИТЕЛЕЙ И ДОЧЕРЕЙ НА МОЛОЧНУЮ ПРОДУКТИВНОСТЬ

О.С. Шаталина, кандидат биологических наук,
И.В. Ткаченко, кандидат сельскохозяйственных наук,
Д.А. Афонина, К.В. Новицкая

Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр
Уральского отделения РАН,
620142, Россия, Екатеринбург, ул. Белинского, 112 а
E-mail: shatalinao@list.ru

Методы молекулярной генетики позволяют выявлять маркеры желательных хозяйственно-полезных признаков сельскохозяйственных животных. Целью исследований являлось изучение влияния генетического сходства родителей и потомства на молочную продуктивность коров-дочерей. Исследование проведено на 630 парах крупного рогатого скота черно-пестрой породы. Животные аттестованы по 11 микросателлитным локусам. Установлено, что индекс генетического сходства пар «отец-мать» ниже, чем индекс сходства пар «мать-дочь» и «отец-дочь». Выявлены положительные корреляции между генетическим сходством пар «отец-мать», «отец-дочь», «мать-дочь» и молочной продуктивностью коров-дочерей. Коэффициент корреляции между генетическим сходством пар животных и удоем за 305 дней лактации составил 0,24-0,34 при $p \leq 0,05-0,01$. Установлено снижение содержания белка на 0,05% и жира на 0,16% в молоке дочерей при увеличении генетического сходства с матерями. Коэффициент корреляции между генетическим сходством пар «мать-дочь» и содержанием жира и белка в молоке составил 0,17-0,31 при $p \leq 0,01-0,001$.

THE INFLUENCE OF THE DEGREE OF GENETIC SIMILARITY IN THE MICROSATELLITE LOCI OF PARENTS AND DAUGHTERS ON THE MILK PRODUCTIVITY

Shatalina O.S., Tkachenko I.V., Afonina D.A., Novitskaya K.V.

Ural federal agrarian scientific research centre
Ural branch of the Russian academy of science
620142, Russia, Yekaterinburg, ul. Belinskogo, 112 a
E-mail: shatalinao@list.ru

Molecular genetics methods allow identifying markers of desirable economically useful traits of farm animals. The aim of the research was to study the effect of the genetic similarities of parents and offspring on the milk production of daughter cows. The study was conducted on 630 pairs of black-motley cattle. Animals are certified at 11 microsatellite loci. As a result of the studies, it was found that the index of genetic similarity of father-mother pairs is lower than the similarity index of mother-daughter and father-daughter pairs. Positive correlations were also established between the genetic similarities of the father-mother, father-daughter and mother-daughter pairs and the milk production of daughter cows. The correlation coefficient between the genetic similarity of pairs of animals and milk yield for 305 days of lactation was 0.24-0.34 at $p \leq 0.05-0.01$. A decrease in protein content of 0.05% and fat by 0.16% in the milk of daughters was established with an increase in genetic similarity with mothers. The correlation coefficient between the genetic similarity of mother-daughter pairs and the fat and protein content in milk was 0.17-0.31 at $p \leq 0.01-0.001$.

Ключевые слова: крупный рогатый скот, микросателлитный локус, генетическое сходство, удой за 305 дней лактации, массовая доля жира, массовая доля белка

Key words: cattle, microsatellite locus, genetic similarity, milk yield for 305 days of lactation, mass fraction of fat, mass fraction of protein

В современном племенном животноводстве огромное значение придается ДНК-технологиям [1-4]. Основными направлениями генетических исследований являются расшифровка генотипа животных, определение генов, кодирующих хозяйственно-полезные признаки, установление достоверности происхождения [5-7]. Наиболее популярным и точным методом определения достоверности происхождения является микросателлитный анализ [8-9], позволяющий с точностью до 99,9% подтвердить происхождение особи, а также определить локусы и индекс генетического сходства, их взаимосвязь с хозяйственно-полезными признаками [10-12].

Рядом ученых исследована частота встречаемости и изменчивость аллелофонда микросателлитных локусов. Н.Г. Фенченко с соавторами (2017) выявлены различия по частоте встречаемости аллелей микросателлитных локусов по породам и линиям, а также установлена взаимосвязь между определенными микросателлитными локусами и уровнем молочной продуктивности [13]. Аналогичные исследования проведены в Марокко на крупном рогатом скоте тидили и

голштинской породы [14]. В.В. Волковой с соавторами выявлено, что 89% изменчивости аллелей микросателлитных локусов составляет внутригрупповая изменчивость, и только 11% – межгрупповая [15]. Н.С. Фуровой с соавторами (2016) изучена гетерозиготность и частота встречаемости аллелей микросателлитных локусов быков ярославской породы [16]. В работе А.Г. Коцаева с соавторами (2017) установлена высокая гетерозиготность по микросателлитным локусам крупного рогатого скота абердин-ангусской породы [17]. Н.А. Зиновьевой с соавторами (2015) выявлено внедрение новых аллелей микросателлитных локусов вследствие межпородного скрещивания [18].

Целью исследований являлось изучение взаимосвязи генетического сходства пар крупного рогатого скота и молочной продуктивности.

Методика. Исследование выполнено на базе ДНК-лаборатории Уральского НИИСХ – филиала ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН. Объектом исследования являлись 630 пар крупного рогатого скота черно-пестрой породы, генотипированных по микросателлитным локусам и достоверных по происхождению.

ДНК выделяли из образцов цельной крови с антикоагулянтом при помощи набора ДНК-Экстран 1 (ООО «НПФ Синтол», Россия) согласно методике изготовителя. Для определения достоверности происхождения крупного рогатого скота использована панель из 11 микросателлитных локусов (BM1824, BM2113, ETH3, ETH10, ETH225, INRA23, SPS115, TGLA53, TGLA122, TGLA126, TGLA227), рекомендованных Международным Обществом Генетики Животных (ISAG). Микросателлитные локусы определены с использованием набора CorDIS Cattle (ООО «Гордиз», Россия). ПЦР-амплификация осуществлялась на термоциклере PCR-9700. Вариабельность микросателлитов изучена на генетическом анализаторе Genetic Analyzer AB 3130 с использованием программ Data Collection v.3.1 и GeneMapper v.4.0. Генетическое сходство пар крупного рогатого скота рассмотрено на основе индекса генетического сходства, рассчитанного по формуле:

$$C_{as} = (A_{bi} + A_{ci}) / 44, \text{ где}$$

C_{as} – индекс генетического сходства;
 A_{bi} и A_{ci} – число одинаковых аллелей микросателлитных локусов первого и второго животного пары;
 44 – общее количество аллелей 11 микросателлитных локусов для двух животных.

В ходе проведения исследования использованы пары животных: «мать-дочь», «отец-дочь», «отец-мать». Данные по молочной продуктивности за первую лактацию (удой за 305 дней, кг; массовая доля жира, %; массовая доля белка, %) взяты из программы ИАС «Селэкс» Молочный скот». Статистическую обработку проводили в программе Snedecor V3.5. Рассчитаны коэффициенты корреляции между генетическим сходством пар и показателями молочной продуктивности, критерии достоверности корреляций.

Результаты и обсуждение. Индекс генетического сходства встречается в четырех вариациях: $\leq 0,2$; 0,21-0,40; 0,41-0,60 и $\geq 0,61$. Исследовано генетическое сходство пар «отец-мать» (рис. 1).

Индекс генетического сходства большинства (67%) спариваемых животных составляет 0,2-0,4. Относительное количество пар «отец-мать» с индексом сходства 0,4-0,6 составило 23,3%; $\leq 0,2$ – 9,6%. Пары с индексом сходства $\geq 0,61$ отсутствуют.

На рисунке 2 отражена структура генетического

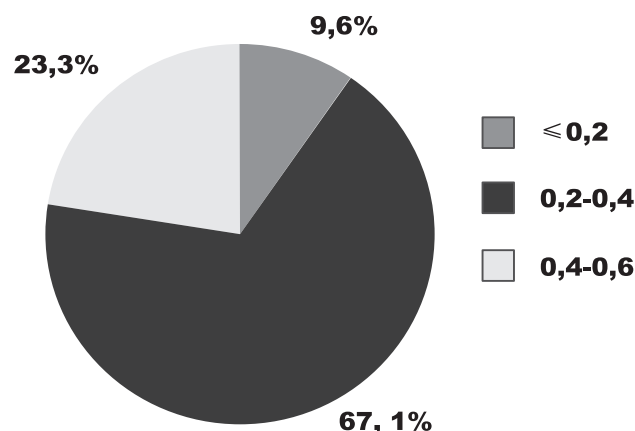


Рис. 1. Распределение пар «отец-мать» по индексу генетического сходства.

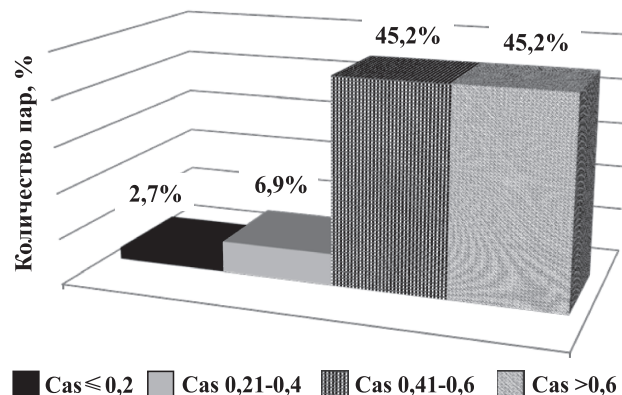


Рис. 2. Распределение пар «отец-дочь» по индексу генетического сходства.

сходства пар «отец-дочь».

При исследовании структуры генетического сходства пар «отец-дочь» крупного рогатого скота выявлено, что количество пар с индексом сходства 0,41-0,6 и более 0,61 составляет 45,2%. Количество пар с индексом сходства $\leq 0,2$ и 0,21-0,4 намного ниже – 2,7 и 6,9% соответственно.

На рисунке 3 представлена выборка пар «мать-дочь», в которой преобладают пары с индексом сходства 0,41-0,6 – 64,8%. Пар с индексом сходства 0,21-0,4 и $\geq 0,61$ меньше – 12,5 и 22,1% соответственно. Пары с индексом сходства $\leq 0,2$ составляют 0,6%.

Индекс генетического сходства пар «отец-дочь» и «мать-дочь» значительно выше, чем индекс сходства в парах «отец-мать». Родственные связи между животными обуславливают увеличение индекса генетического сходства среди пар «отец-дочь» и «мать-дочь», максимальная доля пар с высоким C_{as} ($\geq 0,61$) наблюдается среди пар «отец-дочь».

В таблице 1 отражены результаты исследований взаимосвязи генетического сходства по аллелям микросателлитных локусов пар «отец-мать» и показателей молочной продуктивности дочерей.

С увеличением генетического сходства пар «отец-мать» повышается удой дочерей за 305 дней первой лактации. Так, при индексе сходства $\leq 0,2$ удой состав-

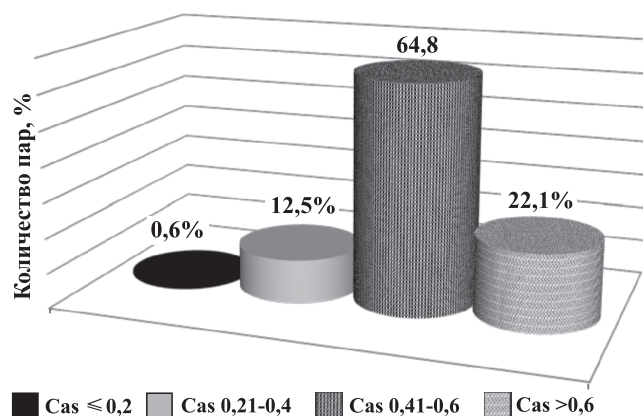


Рис. 3. Распределение пар «мать-дочь» по индексу генетического сходства.

Табл. 1. Взаимосвязь между генетическим сходством родителей и молочной продуктивностью коров-дочерей (n=210)

Индекс генетического сходства пар «отец-мать»	Молочная продуктивность дочерей		
	Удой за 305 дней лактации, кг	МДБ, %	МДЖ, %
≤0,2	6899+462	3,26+0,07	3,61+0,1
0,21-0,4	7689+207	3,27+0,02	3,59+0,03
0,41-0,6	7706+496	3,27+0,02	3,59+0,05
<i>r</i>	0,24*	0,1	0,1
* p≤0,05			

ляет 6899 кг, 0,21-0,4 – увеличивается на 790 кг, 0,41-0,6 – составляет 7706 кг. Коэффициент корреляции составил 0,24 при p≤0,05. По показателям массовой доли жира и белка в молоке дочерей четких взаимосвязей с генетическим сходством родителей не установлено.

В таблице 2 представлена молочная продуктивность дочерей при различных вариациях генетического сходства с отцами. При увеличении степени генетического сходства возрастает удой дочерей. Так, при индексе сходства ≤0,2 удой составил 7141 кг, 0,21-0,4 – 7167 кг, 0,41-0,6 – увеличивается на 382 кг, ≥0,61 – еще на 278 кг. Коэффициент корреляции составил 0,34 при p≤0,01. Также наблюдается тенденция повышения содержания белка и жира в молоке дочерей при возрастании степени генетического сходства с отцами.

При увеличении степени генетического сходства с матерями (табл. 3) возрастает удой дочерей за 305 дней лактации. Так, при индексе сходства ≤0,2 удой коров-дочерей составляет 7073 кг, 0,21-0,4 – увеличился на 102 кг, 0,41-0,61 – еще на 127 кг, ≥0,61 – увеличился на 436 кг. Коэффициент корреляции составил 0,24 при p≤0,01. При исследовании взаимосвязи генетического сходства «мать-дочь» и содержания белка в молоке наблюдается обратная картина – при увеличении С снижается содержание белка в молоке с 3,33 до 3,28%. Аналогичные результаты получены по содержанию жира в молоке – при увеличении генетического сходства «мать-дочь» МДЖ снижается с 3,74 до 3,58 %.

В ходе проведенных исследований установлено, что степень генетического сходства по микросателлитным локусам родителей и родителей с дочерьми оказывает

Табл. 2. Зависимость молочной продуктивности коров-дочерей от степени генетического сходства с отцом (n=170)

Индекс генетического сходства пар «отец-дочь»	Молочная продуктивность дочерей		
	Удой за 305 дней лактации, кг	МДБ, %	МДЖ, %
≤0,2	7141+856	3,21+0,09	3,51+0,31
0,21-0,4	7167+567	3,26+0,05	3,52+0,16
0,41-0,6	7549+343	3,27+0,12	3,61+0,20
≥0,61	7827+229	3,27+0,14	3,60+0,27
<i>r</i>	0,34**	0,17	0,14
** p≤0,01			

Табл. 3. Молочная продуктивность коров-дочерей при различной степени генетического сходства с матерями (n=250)

Индекс генетического сходства пар «мать-дочь»	Молочная продуктивность дочерей		
	Удой за 305 дней лактации, кг	МДБ, %	МДЖ, %
≤0,2	7073+520	3,33+0,07	3,74+0,10
0,21-0,4	7175+280	3,31+0,03	3,67+0,05
0,41-0,6	7302+128	3,28+0,01	3,65+0,02
≥0,61	7738+267	3,28+0,02	3,58+0,03
<i>r</i>	0,24**	-0,17**	-0,31***
** p≤0,01; *** p≤0,001			

влияние на удой дочерей. При увеличении индексов генетического сходства родителей или степени генетического сходства дочерей с матерями и отцами удой за 305 дней первой лактации достоверно увеличивается на 700-800 кг. При этом с увеличением генетического сходства матерей и дочерей снижается содержание белка и жира в молоке коров-дочерей на 0,05-0,16%.

Источником финансирования являлось выполнение государственного задания по теме: «Изучение селекционных параметров молекулярно-генетических характеристик и оценка их влияния на основные хозяйственно-полезные признаки крупного рогатого скота черно-пестрой породы в Уральском регионе».

Литература.

- Новиков А.А., Семак М.С. Генетическая экспертиза племенной продукции в Российской Федерации // Зоотехния. – 2018. – № 2. – С. 4-7.
- Яковлев А.Ф. Эпигенетические эффекты в разведении сельскохозяйственных животных // Генетика. – 2018. – № 8. – С. 890-903.
- Кудинов А.А., Масленникова Е.С., Племяшов К.В. Генетический прогресс ключевой аспект совершенствования молочного животноводства развитых стран // Зоотехния. – 2019. – № 1. – С. 2-6.
- Гридин В.Ф., Гридина С.Л. Анализ породного и классного состава крупного рогатого скота Уральского региона // Российская сельскохозяйственная наука. – 2019. – № 1. – С. 50-51.
- Смарагдов М.Г. Генетическое картирование локусов, ответственных за качественные показатели молока у крупного рогатого скота // Генетика. – 2006. – № 1. – С. 5-21.
- Афанасьев М.П., Хаертдинов Р.А. Экспрессия генов белков молока у разных видов животных // Достижения науки и техники АПК. – 2010. – № 2. – С. 43-45.
- Гладырь Е.А., Зиновьева Н.А., Косян Д.Б., Волкова В.В., Гончаренко Г.М., Солошенко В.А., Карпов А.П., Эрнст Л.К., Брем Г. Характеристика аллелофонда крупного рогатого скота некоторых мясных пород, разводимых на территории Южного Урала и Западной Сибири // Достижения науки и техники АПК. – 2013. – № 3. – С. 61-63.
- Танана Л.А., Глинская Н.А., Епишко О.А. Характеристика STR-полиморфизма крупного рогатого скота белорусской черно-пестрой породы // Вестник Гродненского государственного университета имени Янки Купалы. Серия 5. Экономика, социология, биология. – 2014. – № 3. – С. 116-122.

9. Крыцына Т.И., Кочнев Н.Н., Юдин Н.С. Генетическое разнообразие крупного рогатого скота по комплексу генотипов локусов *TNF-A* и *TNFR1* // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2017. – № 2. – С. 62-68.
10. Зиновьева Н.А., Гладырь Е.А. Генетическая экспертиза сельскохозяйственных животных: применение тест-систем на основе микросателлитов // Достижения науки и техники АПК. – 2011. – № 9. – С. 19-20.
11. Глазко В.И., Косовский Г.Ю., Ковальчук С.Н., Глазко Т.Т. Полилокусное генотипирование крупного рогатого скота по участкам гомологии к ретротранспозонам // Сельскохозяйственная биология. – 2015. – № 6. – С. 766-775.
12. Яковлев А.Ф. Геномная селекция и прогнозирование качества потомства животных // Вестник Российской академии наук. – 2018. – № 10. – С. 946-950.
13. Фенченко Н.Г., Хайруллина Н.И., Шамсутдинов Д.Х., Кахикало В.Г., Назарченко О.В., Гафарова Ф.М. Генетические особенности скота черно-пестрой и симментальской пород по микросателлитным локусам и их использование в селекции // Вестник Курганской ГСХА. – 2017. – № 2. – С. 70-74.
14. Нореззин А. Характеристика аллелофонда крупного рогатого скота Тидили и голштинской пород, разводимых в Марокко, по микросателлитным маркерам // Сборник материалов конференции «Приоритетные векторы развития промышленности и сельского хозяйства», 2018. – С. 126-130.
15. Волкова В.В., Денискова Т.Е., Костюнина Т.И., Зиновьева Н.А. Характеристика аллелофонда локальных пород крупного рогатого скота России по микросателлитным маркерам // Генетика и разведение животных. – 2018. – № 1. – С. 3-10.
16. Фураева Н.С., Ганченкова Т.Б., Кертиев Р.М., Калайникова Л.А. Генетическая гетерогенность быков-производителей ярославской породы по маркерам ДНК // Молочное и мясное скотоводство. – 2016. – № 6. – С. 2-4.
17. Коцаев А.Г., Шуклин С.Ю., Щукина И.В. Генетическое разнообразие крупного рогатого скота, разводимого в Краснодарском крае // Аграрный вестник Урала. – 2017. – № 2. – С. 29-38.
18. Зиновьева Н.А., Гладырь Е.А., Багиров В.А., Брем Г. Динамика биоразнообразия отечественного черно-пестрого скота под воздействием кроссбридинга // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2015. – № 2. – С. 72-75.

Поступила в редакцию 18.11.19

После доработки 01.12.19

Принята к публикации 16.12.19

Ветеринария

УДК 619:[577.17:612.1:618.2]636.2.034

DOI:10.31857/S2500-2627-2020-2-70-73

ГОРМОНАЛЬНЫЙ И ЦИТОКИНОВЫЙ ПРОФИЛЬ КРОВИ МОЛОЧНЫХ КОРОВ В РАННИЙ ПЕРИОД ГЕСТАЦИИ

А.Г. Нежданов¹, доктор ветеринарных наук, С.В. Шабунин¹, академик РАН,
В.И. Михалев¹, доктор ветеринарных наук, Н.В. Пасько¹, кандидат биологических наук,
В.А. Сафонов², доктор биологических наук

¹Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт патологии, фармакологии и терапии,
394087, Воронеж, ул. Ломоносова 114б,
E-mail: mikhalevvi@yandex.ru

²Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН,
119991, Москва, ул. Косыгина, 19
E-mail: safrus2003@mail.ru

Представлены результаты исследований по оценке изменений гормонального и цитокинового статуса коров голштинской породы (n=25) в период эмбриогенеза при физиологическом формировании беременности, задержке развития и гибели эмбриона. В динамике гестации в сыворотке крови определяли содержание прогестерона, кортизола, интерлейкина IL-2, фактора некроза опухолей TNFα, интерферонов γ и тау. Установлено, что у коров с нарушением эмбрионального развития концентрация в крови прогестерона была ниже, чем у животных с физиологическим течением беременности, на 14,0-30,1%, кортизола – на 17,8-35,2%, интерферона-тау – на 22,0-37,7% при превышении показателей IL-2 на 46,5-31,0%, TNFα – на 11,7-36,2% и интерферона-γ – на 44,0-78,0%. Нарушение в организме осемененных и оплодотворенных животных гормонально-цитокинового баланса является универсальным патогенетическим механизмом развития ранних эмбриопатий и выступает ключевым моментом в клинической манифестации данных патологий.

HORMONAL AND CYTOKINE BLOOD PROFILE OF DAIRY COWS IN THE EARLY GESTATION PERIOD

Nezhdanov A.G.¹, Shabunin S.V.¹, Mikhalev V.I.¹, Pasko N.V.¹, Safonov V.A.²

¹All-Russian Scientific Research Veterinary Institute of Pathology, Pharmacology and Therapy,
394087, Voronezh, ul. Lomonosova, 114-b
E-mail: mikhalevvi@yandex.ru

²Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of Russian Academy of Sciences,
119991, Moskva, ul. Kosygina, 19
E-mail: safrus2003@mail.ru

The results of the studies on the evaluation of changes in the hormonal and cytokine status of the black-and-white Holstein cows (n=25) during the period of embryogenesis at the physiological formation of pregnancy, intrauterine growth retardation and the Embryonic demise are presented. The level of progesterone, cortisol, interleukin IL-2, tumor necrosis factor TNFα, interferon-γ and interferon-tau were determined in the dynamics of gestation in blood serum. It was found out that in case of embryogenesis disorder the concentration in blood of progesterone was lower than in animals with physiological course of pregnancy by 14.0-30.1%, cortisol – by 17.8-35.2%, interferon-tau – by 22.0-37.7% at excess of IL-2 indexes by 46.5-31.0%, TNFα – by 11.7-36.2%, and interferon-γ – by 44.0-78.0%. It is concluded that the disturbance of the hormonal-cytokine balance in the organism of inseminated and fertilized animals is a universal pathogenesis of early embryopathies, and is a key point at the clinical manifestation of these pathologies.

Ключевые слова: коровы, эмбриогенез, задержка развития, гибель эмбриона, гормоны, цитокины

Key words: cows, embryogenesis, intrauterine growth retardation, embryonic demise, hormones, cytokines

Высокая степень проявления эмбриональных потерь на ранних сроках гестации и связанная с ней низкая плодovitость маточного поголовья животных – одна из актуальных проблем современного высокопродуктивного молочного скотоводства [1-4]. Центральное место в концепции формирования и проявления эмбриопатий отводится оксидативному стрессу, дисбалансу гормонального и цитокинового профиля, складывающемуся при взаимодействии тканевых эндометриальных структур матери и трофобластных структур формирующегося эмбриона [4-6]. В установлении этого взаимодействия участвуют половые и кортикостероидные гормоны и цитокины (интерлейкины, интерфероны и другие соединения данного класса биологического действия). Стероидные гормоны, синтезируемые половыми и надпочечными железами, обеспечивают функциональную дифференциацию эндометриальных структур, мобилизацию энергетических ресурсов и иммуносупрессию в формирующейся

системе мать-зародыш-плод, необходимых для успешной имплантации и плацентации эмбриона. Цитокины, продуцируемые иммунокомпетентными клетками маточно-плацентарного комплекса, представляют собой группу полипептидных медиаторов, составляющих новую самостоятельную систему регуляции гемостаза, которая находится в тесном взаимодействии с нервной и эндокринной системами [7, 8]. Действуя ауто-пара-эндокринно, данные соединения определяют формирование локальной воспалительной реакции в матке, необходимой для имплантации бластоцисты, характер эндокринной гипоталамо-гипофизарно-гонадной секреции и иммуотрофические взаимоотношения в системе мать-зародыш-плод. Особое место в системе цитокинов принадлежит интерферону-тау (INFτ), синтезируемому в естественных условиях трофобластными клетками зародыша и обеспечивающему иммунологическую толерантность матки к принятию эмбриона путем пролонгации прогестеронсинтезиру-

ющей функции желтого тела и ингибирования продукции провоспалительных интерлейкинов [9-12].

В этой связи углубленное изучение иммунноэндокринных механизмов регуляции эмбрионального развития и патогенетических механизмов формирования эмбриопатий у продуктивных животных может составить основу разработки новых более эффективных средств и методов контроля эмбрио-фетогенеза, повышения фертильности. Однако исследования в этом направлении крайне ограничены.

Цель работы – оценка гормонального и цитокинового статуса коров в период раннего эмбриогенеза при физиологическом формировании эмбриона, задержке его развития и гибели.

Методика. Исследования проведены на 25 коровах голштинской породы со среднегодовой продуктивностью 6500-7500 кг молока, принадлежащих сельскохозяйственному предприятию «СП Вязноватовка» Воронежской области. В день осеменения (О), в период раннего бластогенеза (8-9 дни), имплантации эмбриона (15-16 дни), формирования первичных половых органов (32-33 дни) и при завершении эмбрионального периода (60-62 дни) от коров получали венозную кровь, в сыворотке которой методом ИФА определяли содержание прогестерона и кортизола с использованием тест-систем ЗАО «НВО Иммунотех» (Россия) и интерлейкина IL-2, фактора некроза опухолей (TNF α), интерферона- γ (INF- γ), интерферона- τ (INF τ) с использованием видоспецифичных тест-систем Elisa Kit (Cloud-Clone Corp., USA). Все коровы на 32-33, 38-45 и 60-65 дни после осеменения подвергались клинко-эхографическому исследованию с использованием ультразвукового сканера EasyScan-3 (Великобритания), оборудованного линейным датчиком с частотой 7,5 МГц. По результатам этих исследований животные были разделены на три группы. В I группу были включены коровы с физиологическим течением беременности (n=9 гол.), во II – с задержкой развития эмбриона (n=8 гол.) и в III – с гибелью эмбриона (n=8 гол.). Диагноз ставили на основании наличия/отсутствия эмбриона в матке и учета его метрических показателей [13].

Обработку экспериментальных данных проводили с использованием прикладной статистической программы «Statistica 8.0» («Stat-Soft, Inc», USA). Результаты выражали как среднее арифметическое и стандартное отклонение. Коррелятивные связи между показателями выявляли с помощью непараметрических критериев Спирмена (r_s).

Результаты и обсуждение. Установлено, что уже в день осеменения прогестеронсинтезирующая функция яичников у коров с последующей задержкой развития эмбриона и его гибелью оказалась ниже, чем у животных с физиологическим формированием эмбриона (табл. 1). Концентрация прогестерона в сыворотке крови коров II и III групп была ниже на 22,1-24,4%. На этапе раннего бластогенеза (8-9 дни) разница в содержании прогестерона составила соответственно 15,2 и 28,0%, в период имплантации (15-16 дни) – 14,0 и 30,1%, закладки первичных половых органов (32-33 дни) – 17,7 и 27,2%. При завершении эмбриогенеза у коров с задержкой развития эмбриона количество прогестерона в сыворотке крови оказалась ниже на 16,8% в сравнении с животными I группы, а при гибели зародыша – в 4,4 раза.

В физиологических концентрациях прогестерон обеспечивает секреторную и трофическую функцию матки, подавляет контрактильную активность миометрия и иммунный ответ матери на отцовские антигены

Табл. 1. Концентрация стероидных гормонов в сыворотке крови коров в разные сроки гестации, н Моль/л

День после осеменения	Группа		
	I	II	III
Прогестерон			
О	1,23±0,12	0,97±0,09	0,93±0,06
8-9	16,4±0,7	13,9±0,4*	11,8±0,8**
15-16	30,9±1,8	26,6±0,5*	21,6±1,3**
32-33	51,4±3,6	42,3±2,2	37,4±1,6**
60-62	61,5±2,3	51,2±1,2	14,1±1,1***
Кортизол			
О	45,5±1,8	50,2±2,2	81,8±2,4***
8-9	59,2±1,4	43,7±2,9**	57,7±1,5
15-16	93,3±6,3	76,1±2,3*	76,7±2,0*
32-33	157,2±6,1	120,4±9,2*	101,9±4,9***
60-65	235,9±10,4	209,5±6,4	44,5±4,5***

*P<0,05; ** P<0,01; ***P<0,001 по сравнению с I группой

эмбриона и плода посредством блокады эндометриального синтеза PGF $_{2\alpha}$ и стимуляции синтеза PGE $_2$ [7,14]. Кроме того, прогестерон способствует супрессии образования хемокина ИЛ-8 и индукции продукции противовоспалительных цитокинов ИЛ-4, ИЛ-5 [7, 15]. В итоге данный гормон создает все условия для нормального формирования и развития эмбриона и плода. При пониженной продукции яичниками коров прогестерона формирующийся после оплодотворения эмбрион попадает в дискомфортные условия, приводящие к замедлению его развития вплоть до последующей гибели.

Из данных таблицы 1 также следует, что формирование эмбриона на этапе имплантации и плацентации сопровождается постепенным увеличением функциональной активности надпочечных желез и концентрации в крови кортизола в 4-4,8 раза. При этом у коров с задержкой развития эмбриона содержание кортизола в сыворотке крови в разные периоды исследований оказались ниже, чем у коров с физиологическим течением беременности, на 11,2-26,2%. У животных III группы количество кортизола во время осеменения было выше, чем у коров I группы, на 79,8%, на этапе имплантации и закладки первичных органов эмбриона – ниже на 17,8-35,2%, а после его гибели – в 5,3 раза.

Можно полагать, что глюкокортикоидный гормон кортизол, не являясь прямым репродуктивным стероидом, через регуляцию обмена веществ и энергии выполняет модулирующую роль в адаптации животных к беременности. Пониженная продукция данного гормона у коров в период имплантации и начала плацентации эмбриона ассоциируется с гиперчувствительностью организма матери к его отцовским антигенам и со снижением его блокирующего действия на продукцию провоспалительных цитокинов [7].

В тесной взаимосвязи с гормональным статусом коров находится и их цитокиновый профиль (табл. 2). Концентрация в сыворотке крови IL-2, ключевого цитокина в реализации механизмов иммунного ответа

матери на инвазию эмбриона [7, 8], у всех животных в день осеменения была примерно на одном уровне ($58,3 \pm 4,65 - 60,6 \pm 3,37$ пг/мл). В дальнейшем, в динамике формирования физиологически протекающей беременности, она постепенно снизилась на 52,8% ($P < 0,01$). Та же закономерность отмечена у коров II группы – снижение составило 33,5% ($P < 0,05$). Однако в период плацентации эмбриона содержание интерлейкина IL-2 у животных II группы было на 46,5% достоверно выше, чем у коров I группы. У коров с гибелью эмбриона, наоборот, зарегистрирован постепенный рост концентрации IL-2 в сыворотке крови с $59,4 \pm 2,94$ пг/мл до $85,4 \pm 6,47$ пг/мл, или на 43,8% ($P < 0,05$).

Физиологическое формирование беременности у коров ассоциируется с относительно стабильным содержанием в крови многофункционального цитокина TNF_α – фактора некроза опухолей. Увеличение его концентрации к периоду имплантации составило 15,9%. Этого увеличения оказывается достаточным для индукции умеренного воспаления эндометрия, необходимого для физиологического его взаимодействия с бластоцистой в процессе имплантации. В последующие две недели формирования эмбриона количество TNF_α в крови снизилось на 19,5%. У коров II группы увеличение концентрации в крови данного цитокина в период имплантации составило 40,9%, а у животных III группы – 49,8% ($P < 0,01$). Различия с показателями коров с физиологическим течением беременности составили 11,7 и 36,2% соответственно.

Исследование интерферонового статуса коров показало, что антигенное раздражение их полового тракта введенной спермой уже в день осеменения индуцирует продукцию интерферона- γ . У животных I группы его

концентрация в сыворотке крови составила $883,5 \pm 44,2$ пг/мл. Через две недели она снизилась на 41,4%, а через месяц – в 2,2 раза. У коров с задержкой развития эмбриона содержание INF- γ в день осеменения была выше на 41,3%, в период имплантации – на 58,1% и плацентации – на 70,8%, чем у животных I группы. У коров с последующей гибелью эмбриона эти различия составили 44,0, 69,2 и 296% соответственно. Обращает на себя внимание тот факт, что смерти зародыша предшествует всплеск продукции INF- γ . Его концентрация в крови с $876,9 \pm 50,5$ пг/мл в период имплантации возросла с началом плацентации до $1153,4 \pm 66,9$ пг/мл, или на 31,5% ($P < 0,05$). В этот период в качестве источников повышения продукции интерферона могут выступить не только иммунокомпетентные клетки крови матери, но и формирующейся плаценты [15]. Высокий уровень продукции провоспалительных цитокинов, как показали наши исследования, связан с недостаточным биосинтезом глюкокортикоидного гормона кортизола и прогестерона, как супрессоров иммунных реакций. Обнаружена статистически значимая связь ($P < 0,05 - 0,01$) между концентрациями в крови кортизола и IL-2 ($r_s = -0,62$), TNF_α ($r_s = -0,78$) и INF- γ ($r_s = -0,55$). Между концентрациями прогестерона и данными цитокинами эта связь выразилась, соответственно, как $-0,54$; $-0,83$ и $-0,45$.

Установлено, что при физиологическом формировании эмбриона концентрация INF- γ с $364,0 \pm 22,1$ пг/мл (8-9 дни развития) возросла до $1403,2 \pm 71,8$ пг/мл (период имплантации) или в 3,85 раза. К 32-33 дню после осеменения она снизилась от максимального уровня на 42,0%. Та же динамика содержания интерферона- γ в сыворотке крови зарегистрирована у коров II и III групп. Однако уровень его концентрации у коров с симптомами задержки развития эмбриона во все периоды исследований был ниже, чем у животных I группы, на 22,0-25,3%, а у коров с гибелью эмбриона – на 22,6-37,7%. Неадекватная продукция развивающимся зародышем INF- γ отрицательно сказывается на гормонально-синтезирующей функции желтого тела, надпочечных желез, ингибировании синтеза провоспалительных цитокинов и на иммунотрофическом взаимоотношении развивающегося зародыша с эндометриальными структурами матки и в целом с организмом матери. Прямым доказательством данного заключения являются показатели коррелятивной связи концентрации INF- γ в крови с показателями содержания определяемых нами гормонов и цитокинов. С концентрацией прогестерона корреляция составила $+0,87$ ($P < 0,01$), кортизола — $+0,79$ ($P < 0,05$), IL-2 — $-0,83$ ($P < 0,01$), TNF_α — $-0,84$ ($P < 0,01$), INF- γ — $-0,92$ ($P < 0,01$).

Таким образом, физиологическое формирование эмбриона у коров в ранние сроки гестации во многом определяется уровнем продукции INF- γ , прогестерона и кортикостероидов. При их дефиците у осемененных и оплодотворенных животных возрастает синтез провоспалительных цитокинов IL-2, TNF_α и INF- γ , активно участвующих в проявлении иммунных реакций и создании некомфортной коммуникационной сети между организмом матери и формирующимся эмбрионом. В конечном итоге это приводит к задержке эмбрионального развития вплоть до гибели зародыша. Можно полагать, что нарушение в организме оплодотворенных животных гормонально-цитокенового баланса является универсальным патогенетическим механизмом развития ранних эмбриопатий и выступает ключевым моментом в клинической манифестации этих патологий.

Табл. 2. Содержания цитокинов в сыворотке крови коров в ранние сроки гестации, пг/мл

День после осеменения	Группа		
	I	II	III
Интерлейкин, IL-2			
О	$58,3 \pm 4,65$	$60,6 \pm 3,37$	$59,4 \pm 2,94$
15-16	$46,7 \pm 3,21$	$49,2 \pm 2,19$	$77,9 \pm 4,12^{***}$
32-33	$27,5 \pm 1,95$	$40,3 \pm 2,64^{**}$	$85,4 \pm 6,47^{***}$
Фактор некроза опухолей, TNF_α			
О	$254,2 \pm 12,4$	$233,6 \pm 11,8$	$267,8 \pm 15,7$
15-16	$294,6 \pm 14,1$	$329,1 \pm 16,6$	$401,2 \pm 19,8^{**}$
32-33	$237,1 \pm 10,4$	$278,1 \pm 12,4$	$309,7 \pm 18,3^{**}$
Интерферон-γ			
О	$883,5 \pm 44,2$	$1248,1 \pm 69,7^{**}$	$1272,4 \pm 81,9^{**}$
15-16	$518,2 \pm 31,8$	$819,1 \pm 61,7^{**}$	$876,9 \pm 50,5^{**}$
32-33	$389,5 \pm 23,7$	$693,2 \pm 37,4^{***}$	$1153,4 \pm 66,9^{***}$
Интерферон-α			
8-9	$364,0 \pm 22,1$	$278,4 \pm 19,4^*$	$285,5 \pm 20,8^*$
15-16	$1403,2 \pm 71,8$	$1046,4 \pm 62,7^*$	$845,2 \pm 51,7^{**}$
32-33	$813,2 \pm 37,9$	$634,2 \pm 45,8^*$	$571,9 \pm 38,2^{**}$

* $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$ по сравнению с I группой

Литература.

1. Янчуков И., Панфёров В., Мороз Т. Пренатальные потери у высокопродуктивных коров // Молочное и мясное скотоводство. – 2011. – №8. – С. 2-4
2. Гуськова С.В., Турбина И.С., Ескин Г.В., Комбарова Н.А. Эмбриональные потери в молочном скотоводстве: основные генетические причины // Молочная промышленность. – 2015. – №7. – С. 48-50.
3. Нежданов А.Г., Михалёв В.И., Лозовая Е.Г., Лободин К.А., Сафонов В.А. Патологические аспекты эмбриональной смертности у молочных коров // Сельскохозяйственная биология. – 2017. – Т. 52. – №2. – С. 338-348.
4. Nyman S., Gustafsson H., Berglund B. Extent and pattern of pregnancy losses and progesterone levels during gestation in Swedish Red and Swedish Holstein dairy cows // Acta Vet. Scand. – 2018. – Oct. 30. – №60 (1). – P. 68.
5. Шабунин С.В., Нежданов А.Г., Михалёв В.И., Лозовая Е.Г., Черницкий А.Е. Прогностическое значение показателей эндогенной интоксикации и оксидативного стресса в оценке раннего эмбриогенеза коров // Российская сельскохозяйственная наука. – 2015. – №6. – С. 54-56.
6. Brooks K., Burns G., Spencer T.E. Conceptus elongation in ruminants: roles of progesterone, prostaglandin, interferon-tau and cortisol // J. Anim. Sci. Biotechnol. – 2014. – №5 (1). – P.53.
7. Ширшев С.В. Механизмы иммунноэндокринного контроля процессов репродукции. Т. 2. – Екатеринбург: Уро РАН, 2002. – 557 с.
8. Симбирцев А.С. Цитокины в патогенезе и лечении заболеваний человека. – СПб.: Фолиант, 2018. – 512 с.
9. Demmers R.J., Derecka K., Flint A. Trophoblast interferon and pregnancy // Reproduction. – 2001. – №121. – P. 41-49.
10. Forde N., Lonergan P. Interferon-tau and fertility in ruminants // Reproduction. – 2017. – №154 (5). – P. 33-34.
11. Hansen T.R., Sinedino L.D.P., Spencer T.E. Paracrine and endocrine actions of interferon-tau (INFT) // Reproduction. – 2017. – №154 (5). – P. 45-49.
12. Tuo W.B., MacMillan H., Gunter N., Bazer F.M., Brown W.C. Upregulation of interleukin-4 and IFN-gamma expression by IFN-tau, of member of the type I INF family // J. of Interferon and Cytokine Research. – 1999. – №19. – P. 179-187.
13. Ультразвуковая диагностика беременности и задержки развития эмбриона и плода у коров: методическое пособие. – Воронеж: Истоки, 2013. – 19 с.
14. Piccini M.P., Giudizi M.G., Biagiotti R. et al. Progesterone favors the development of human T-helper cells producing Th2-type cytokines and promotes both IL-4 production and membrane CD30 expression in established Th1 cell clones // J. Immunol. – 1995. – V. 155. – P. 128-133.
15. Королёва Л.И. О системе интерферона, его формировании в раннем онтогенезе человека и особенностях у новорожденных детей с внутриутробной инфекцией // Журнал акушерства – женских болезней. – 2010. – Т. LX. – Вып. 6. – С. 35-44.

Поступила в редакцию 29.04.19

После доработки 10.05.19

Принята к публикации 05.06.19

МЕЙОТИЧЕСКОЕ СОЗРЕВАНИЕ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ЛИПИДОМА В ООЦИТАХ СВИНЕЙ, ЗАВЕРШИВШИХ ФАЗУ РОСТА *in vivo* ИЛИ *in vitro*, ПРИ ПРОЛОНГИРОВАННОМ КУЛЬТИВИРОВАНИИ

Т.И. Кузьмина, доктор биологических наук, И.В. Чистякова, аспирант, Д.А. Старикова

Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал Федерального научного центра животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста, 196601, Санкт-Петербург, Пушкин, Московское шоссе, 55а
E-mail: prof.kouzmina@mail.ru

С целью повышения эффективности технологии экстракорпорального созревания донорских ооцитов свиней проанализированы кинетика мейотических преобразований хроматина и функционирование липидома ооцитов, завершивших фазу роста *in vivo* (BCB⁺) или *in vitro* (BCB⁻) при пролонгированном культивировании. Выявлено, что пролонгированное культивирование (до 50 ч) в среде Sage Media Cleavage («Coopersurgical», США) с добавлением 5% Serum Protein Substitute («Coopersurgical», США), 10 МЕ хорионического гонадотропина человека провоцирует деструкцию хроматина как у BCB⁺, так и BCB⁻ ооцитов (76% против 50%, $P < 0.01$). Процессы старения ооцитов свиней в результате пролонгирования культивирования сопровождаются изменениями морфологии липидных капелек: гранулы трансформируются в кластеры. Высокий процент BCB⁻ ооцитов с нормальным хроматином на стадии метафазы II свидетельствует о возможности ооцитов, не завершивших фазу роста *in vivo*, закончить ее *in vitro* с последующим мейотическим дозреванием. Полученные данные могут быть использованы при моделировании систем дозревания женских гамет свиней, не завершивших фазу роста *in vivo*.

MEIOTIC MATURATION AND LIPIDOME FUNCTIONING IN PORCINE OOCYTES THAT HAVE FINISHED ITS GROWTH PHASE *in vivo* OR *in vitro* AT PROLONGED CULTIVATION

Kuzmina T.I., Chistyakova I.V., Starikova D.A.

All-Russian research institute of genetics and breeding of farm animals – the branch of Federal Research Center Livestock – AUIAB Academician L.K. Ernst, 196601, Sankt-Peterburg, Pushkin, Moskovskoe shosse, 55a,
E-mail: prof.kouzmina@mail.ru

In order to increase the efficiency of the extracorporeal maturation technology of porcine donor oocytes, the kinetics of meiotic chromatin reorganization and functioning of lipidome in oocyte, which completed their growth phase *in vivo* (BCB⁺) or *in vitro* (BCB⁻) at prolongation of cultivation, were analyzed. It was revealed that prolonged cultivation (up to 50 hours) in Sage Media Cleavage medium (Coopersurgical, USA) with the addition of 5% Serum Protein Substitute (Coopersurgical, USA), 10 IU human chorionic gonadotropin provides chromatin destruction in both BCB⁺ and BCB⁻ oocytes (76% versus 50%, $P < 0.01$). The aging processes of porcine oocytes as a result of prolonged cultivation are accompanied by morphological changes of lipid droplets: granules are transformed into clusters. A high percentage of BCB⁻ oocytes with normal chromatin at the metaphase II stage demonstrate the ability of oocytes that did not complete their growth phase *in vivo* to finish it *in vitro* followed by meiotic maturation. The obtained data can be used to model the maturation systems of porcine female gametes, which did not finish their growth phase *in vivo*.

Ключевые слова: ооциты свиней, мейоз, липидом, функциональный статус, созревание *in vitro*

Key words: porcine oocytes, meiosis, lipidome, functional status, *in vitro* maturation

Использование инновационных репродуктивных биотехнологий в животноводстве (получение эмбрионов *in vitro*, клонирование, трансгенез, в том числе редактирование генома с помощью метода CRISPR-CAS9) обеспечивает интенсификацию селекционного процесса путем тиражирования выдающихся по хозяйственно-полезным признакам особей [1]. Домашняя свинья *Sus scrofa domestica* в силу физиологического и иммунологического сходств с *Homo sapiens* – прекрасная экспериментальная модель для исследования различных заболеваний, ксенотрансплантации органов, получения линий эмбриональных стволовых клеток [2,3]. Эффективность внедрения клеточных репродуктивных и ДНК-технологий в животноводство и биомедицину определяется, прежде всего, качеством донорских ооцитов и адекватностью состава используемых для экстракорпорального созревания гамет сред. Несмотря на несомненные успехи в технологии получения эмбрионов свиней *in vitro*, отдельные ее этапы требуют дальнейшего совершенствования [4]. Популяция донорских ооцитов гетерогенна как по морфологическим показателям, так и по функциональному статусу. Разработка метаболического BCB-теста, позволяющего определять завершенность фазы роста ооцитов, раскрывает возможности углубленного исследования физиологии женской гаметы и индивидуального подхода к условиям экстракорпорального дозревания ооцита [5-

7]. Мониторинг процессов роста, созревания, старения и гибели женской гаметы позволит выявить критические периоды в формировании яйцеклетки и факторы, детерминирующие приобретение ею компетентности к дальнейшему развитию или определяющие ее гибель в культуре. Созревание ооцита – комплексный процесс преобразования хроматина ядра и функционирования клеточных компартментов, в т.ч. и липидома, который играет особую роль у *Sus scrofa domestica* [8,9].

Цель настоящего исследования – проанализировать кинетику мейотического созревания и функционирование липидома ооцитов свиней, завершивших фазу роста *in vivo* (BCB⁺) или *in vitro* (BCB⁻) при пролонгированном экстракорпоральном культивировании.

Методика. Ооцит-кумулусные комплексы (ОКК) выделяли из антральных фолликулов (диаметром от 3 до 6 мм, с высоким тургором и обширной сетью капилляров) яичников свиней в возрасте 6-8 месяцев породы ландрас. В исследовании использовали ооциты округлой формы с гомогенной, тонкозернистой цитоплазмой, равномерной по ширине зоной пеллюциды, окруженные 5 и более слоями клеток кумулюса. После извлечения ооцит-кумулусных комплексов из фолликулов их подвергали BCB-тесту. Для этого ОКК помещали в 13 мМ раствор бриллиантового кристаллического голубого (BCB, В-5388), приготовленный на фосфатно-солевом буфере с 0,4%-ным бычьим сы-

вороточным альбумином (А-7888) на 90 мин при температуре 38,5 °C в атмосфере 5% CO₂, 90% влажности [10,11]. Затем, в соответствии с окраской ооплазмы, ОКК делили на BCB⁺ – завершившие фазу роста (ооплазма ооцитов оставалась окрашенной) и BCB⁻ – растущие (ооплазма теряла окраску). ОКК культивировали в среде Sage Media Cleavage (SMC, «Coopersurgical», США) с добавлением 5% Serum Protein Substitute (SPS, «Coopersurgical», США), 10 МЕ хорионического гонадотропина человека. Режим культивирования соответствовал описанному в методических рекомендациях, разработанных в лаборатории биологии развития ФГБНУ ВНИИГРЖ [10]. Цитологический анализ стадий мейоза проводили в соответствии с методом, представленным в работе Fu B. с соавторами (2015), путем окрашивания хромосом 10 мг/мл Hoechst 33342 [7]. К деструктивным изменениям метафазных хромосом относили морфологические аномалии: слипание хромосом, фрагментацию, деспирализацию или потерю четких очертаний хроматина. Проведен мониторинг показателей ядерного созревания и деструктивных изменений хроматина ооцитов через 24, 44 и 50 ч культивирования. Всего прокультивировано 354 ооцит-кумулусных комплекса.

Для анализа липидного содержимого ооцита гаметы денудировали и окрашивали флуоресцентным красителем Nile red. Краситель растворяли в среде для культивирования, затем ооциты погружали в 1 мМ раствор и выдерживали при комнатной температуре в темноте 5 мин. Оценку морфологии хромосом и липидных капель проводили с помощью микроскопа Carl Zeiss Axio Imager A2m.

Для сравнения результатов экспериментов использовали критерий χ^2 . Данные обрабатывали с помощью пакета статистической программы Sigma Stat. Достоверность разности сравниваемых средних значений оценивали при трех уровнях значимости: $P < 0,05$; $P < 0,01$; $P < 0,001$.

Результаты и обсуждение. Основная масса выделенных из антральных фолликулов ооцитов находится на стадии диплотеи. Для завершения ядерного созревания (достижение стадии метафазы II) хроматину ооцита необходимо поэтапно преодолеть стадии мейоза, включая диплотену, диакинез, метафазу I, анафазу, телофазу. К моменту извлечения гамет из фолликулов они завершают фазу роста и приобретают компетентность к созреванию. Время, необходимое «выросшим» ооцитам свиней для завершения ядерного созревания, составляет 44 ч. Через 24 ч 32% BCB⁺ ооцитов находились на стадии метафазы I, 47% – на стадиях анафазы и телофазы. К этому же времени 52% BCB⁻ ооцитов достигли стадии метафазы I, 12% – стадии анафазы и телофазы, что достоверно ниже ($P < 0,01$), чем у BCB⁺ ооцитов (рис. 1).

Через 44 ч большинство BCB⁺ ооцитов (60%) завершило мейотическое созревание, и лишь 31% BCB⁻ ооцитов достиг стадии метафазы II (рис. 2).

Пролонгация культивирования до 50 ч позволила выявить следующие особенности мейотического преобразования хроматина BCB⁺ и BCB⁻ ооцитов (рис. 3). Основная масса BCB⁺ ооцитов (76%) была представлена клетками с аномальным хроматином (фрагментация, деспирализация, слипание) и лишь 24% ооцитов с нормальным хроматином находились на стадии метафазы II. На этот же период 50% BCB⁻ ооцитов с нормальным хроматином находились на стадии метафазы II, а у 50% BCB⁻ ооцитов хроматин оценивался как дегенерированный.

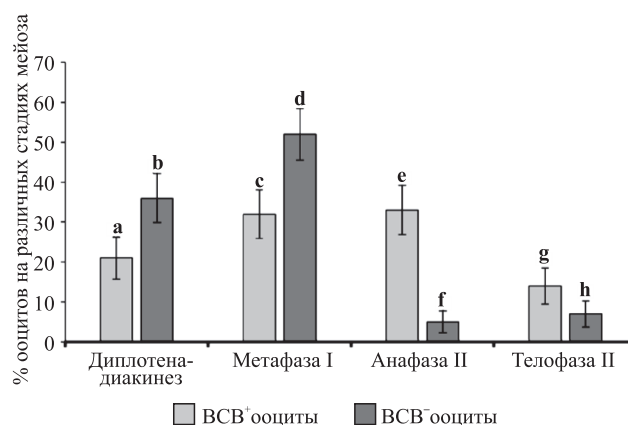


Рис. 1. Статус хроматина ооцитов свиней после культивирования в течение 24 ч. Достоверность различий χ^2 -test: b/f; b/h; d/f; d/h; e/f $P < 0,001$; c/d; c/e; c/f $P < 0,05$.

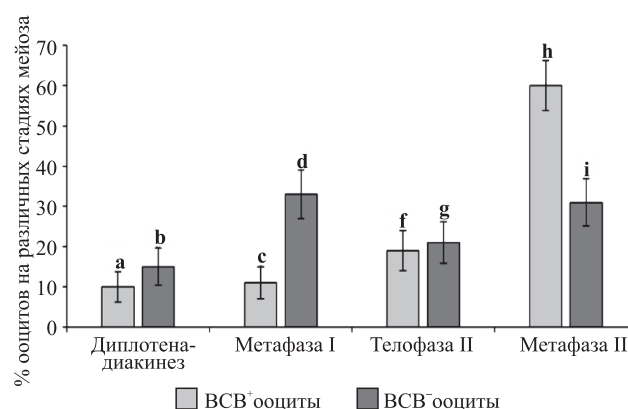


Рис. 2. Статус хроматина ооцитов свиней после культивирования в течение 44 ч.

Достоверность различий χ^2 -test: a/g; c/g; e/g $P < 0,001$; b/d; b/h $P < 0,05$; c/d; g/h $P < 0,01$.

Рост деструктивных процессов в BCB⁺ ооцитах при пролонгации культивирования спровоцирован, по-видимому, процессами «старения» яйцеклетки. Ооциты, тестируемые в момент извлечения из фолликулов как растущие, завершали рост *in vitro* и затем приступали к мейотическому созреванию, т.е. в более поздние сроки, чем BCB⁺ ооциты.

Формирование яйцеклетки – тандем процессов преобразования хроматина и функциональной активности органелл гаметы [12]. Одним из важных отличий, характеризующих ооциты свиньи, является повышенное содержание в них липидов по сравнению с другими видами животных [13,14]. Характеристика показателей функциональной активности липидома гаметы в периоды роста, созревания и старения позволяет идентифицировать факторы, вовлеченные в процесс формирования ооцита с высокими качественными показателями [8].

В экспериментах, в соответствии с разработанными ранее классификациями функциональной активности липидома, а именно – липидных капель, оценивали следующие показатели: интенсивность флуоресценции, интрацитоплазматическая локализация и морфология липидных капель [9,15,16]. Данные проведенных нами исследований представлены на рис. 4.

Не обнаружено достоверных различий в интенсивности флуоресценции липидных капель в тестируе-

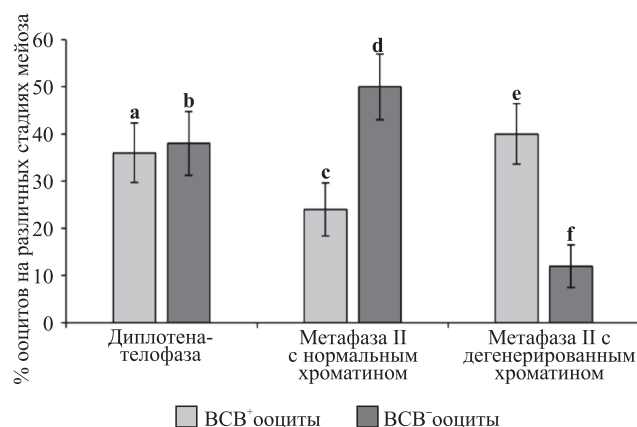


Рис. 3. Статус хроматина ооцитов свиней после культивирования в течение 50 ч.
Достоверность различий χ^2 -test: ecf; df $P < 0,001$; ecd; bcf $P < 0,01$.

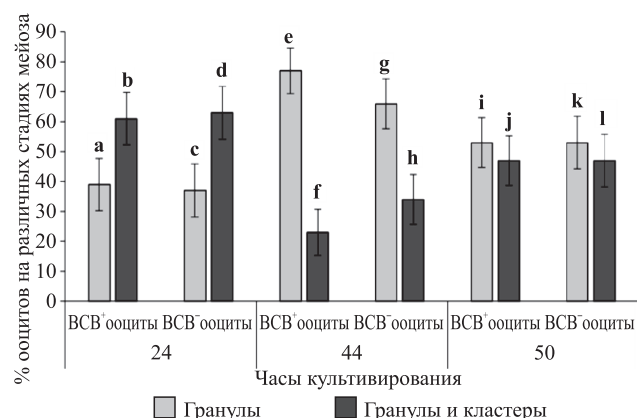


Рис. 4. Оценка морфологии липидных капель ооцитов свиней при пролонгированном культивировании.
Достоверность различий χ^2 -test: ecf $P < 0,001$; ace; cef; bcf $P < 0,01$; a;g; c;g; e;h; b;h; d;h; f;f; f;l $P < 0,05$.

мые временные промежутки культивирования BCB⁺ и BCB⁻ ооцитов. При исследовании морфологии липидных капель учитывали полученные нами данные, свидетельствующие о том, что в ооцитах, оцененных как дегенерированные по ряду показателей, в т.ч. дегенерация хромосом, липидные капли формировали кластеры. Липидом нормальных ооцитов был представлен мелкими гранулами. В настоящем исследовании обнаружено, что при пролонгированном культивировании доля ооцитов, содержащих липидные капли в виде мелких гранул совместно с кластерами, возрастала как в BCB⁺, так и BCB⁻ ооцитах. Не обнаружено достоверных различий в уровне ооцитов с липидными каплями в виде гранул спустя 24 ч культивирования. Через 44 ч доля ооцитов с гранулярными липидными каплями возрастала. Дальнейшее культивирование сопровождалось снижением уровня BCB⁺ и BCB⁻ ооцитов с липидными каплями в виде гранул.

Таким образом, старение ооцита свиней в результате пролонгирования культивирования сопровождается

кластеризацией липидных капель. Пролонгированное культивирование провоцировало деструкцию хроматина как у BCB⁺, так и BCB⁻ ооцитов. Высокий процент BCB⁻ ооцитов с нормальным хроматином на стадии метафазы II в результате пролонгации культивирования позволяет сделать предположение о возможности ооцитов, не завершивших фазу роста *in vivo*, закончить ее *in vitro* с последующим мейотическим дозреванием. Полученные данные могут быть использованы при моделировании систем дозревания женских гамет свиней, не завершивших фазу роста *in vivo*, что позволит повысить эффективность клеточных репродуктивных технологий, основой которых является метод экстракорпорального созревания ооцитов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проект №18-016-00147А).

Литература

1. Prathnes S., Hawley R.J., Carter D.B., Lai L., Greenstein J.L. Transgenic swine for biomedicine and agriculture // *Theriogenology*. – 2003. – V. 59. – № 1. – P. 115-123.
2. Aigner B., Renner S., Kessler B., Klymiuk N., Kurome M., Wunsch A., Wolf E. Transgenic pigs as models for translational biomedical research // *Journal of molecular medicine*. – 2010. – № 88. – P. 653-664.
3. Niemann H., Petersen B. The production of multi-transgenic pigs: update and perspectives for xenotransplantation // *Transgenic Research*. – 2016. V.25. – № 3. – P. 361-374.
4. Dyck M.K., Zhou C., Tsoi S., Grant J., Dixon W.T., Foxcroft G.R. Reproductive technologies and the porcine embryonic transcriptome // *Animal Reproduction Science*. – 2014. – V.149. – № 1-2. – P. 11-18.
5. Кузьмина Т.И., Новичкова Д.А., Волкова Н.А. Моделирование систем созревания ооцитов свиней *in vitro* // *Сельскохозяйственная биология*. – 2013. – № 2. – С. 52-57.
6. Ishizaki C. Developmental competence of porcine oocytes selected by brilliant cresyl blue and matured individually in a chemically defined culture medium // *Theriogenology*. – 2009. – V.72. – № 1. – P. 72-80.
7. Fu B., Ran L., Liu D., Ma J.-Z., An T.-Z., Bay J. Sub cellular characterization of porcine acolytes with different glucose-6-phosphate dehydrogenase activities Asian Austral as // *Journal of Animal Science*. – 2015. – V. 28. – № 12. – P.1703-1712.
8. Prates E.G., Nunes J.T., Pereira R.M. A role of lipid metabolism during cumulus-oocyte complex maturation: Impact of lipid modulators to improve embryo production // *Mediators of inflammation*. – 2014. – № 2014. – P. 692096-692107.
9. Welte M.A. Expanding roles for lipid droplets // *Current Biology*. – 2015. – № 25. – P. R470-R481.
10. Кузьмина Т.И., Торнер X., Альм X. Методы получения эмбрионов свиней *in vitro*: методические рекомендации // СПб-Пушкин, 2008. – 36 с.
11. Egerszegi I. Meiotic progression, mitochondrial features and fertilization characteristics of porcine oocytes with different G6PDH activities // *Reproduction, Fertility and Development*. – 2010. – № 22. – P. 830-838.
12. Reader K.L., Stanton J.-A. L., Juengel L.J. The role of oocyte organelles in determining developmental competence // *Biology*. – 2017. – № 6. – P.35.
13. Niu Y., Wang Ch., Xiong Q., Yang X., Chi D., Li P., Liu H., Li J., Huang R. Distribution and content of lipid droplets and mitochondria in pig parthenogenetically activated embryos after delipation // *Theriogenology*. – 2015. – № 83. – P.131-138.
14. Budna J., Celichowski P., Bryja A., Jeseta M., Jankowski M., Bukowska D., Antosik P., Nowicki A., Brüssow K. P., Bruska M., Nowicki M. Expression changes in fatty acid metabolic process related genes in porcine oocytes during *in vitro* maturation // *Medical journal of Cell Biology*. – 2018. – V.6. – № 2. – P. 48-54.
15. Ago Q. The lipid droplet – a well-connected organelle // *Frontiers in cell and developmental biology*. – 2015. – V.3. – P.49.
16. Dunning K.R., Russell D.L., Robker R.L. Lipids and oocyte developmental competence: The role of fatty acids and β -oxidation // *Reproduction*. – 2014. – V. 148. – №1. – P. R15-27.

Поступила в редакцию 14.08.19

После доработки 09.09.19

Принята к публикации 10.10.19